

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS

TEMA:
DISEÑO DE UNA RED PON PARA LA EMPRESA VALLEVISIÓN EN LAS
ZONAS DE TAMBILLO Y AMAGUAÑA

AUTORES:
WILLIAM BERNABE PILLAJO TIPANTUÑA
JONATHAN VINICIO TAIPE ÁLVAREZ

TUTOR:
GERMÁN VICENTE ARÉVALO BERMEO

Quito, febrero del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros William Bernabe Pillajo Tipantuña con documento de identificación N° 1724459175 y Jonathan Vinicio Taipe Álvarez con documento de identificación N° 1721528360, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “DISEÑO DE UNA RED PON PARA LA EMPRESA VALLEVISIÓN EN LAS ZONAS DE TAMBILLO Y AMAGUANA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

.....
William Bernabe Pillajo Tipantuña
C.I.: 1724459175

.....
Jonathan Vinicio Taipe Álvarez
C.I.: 1721528360

Quito, febrero del 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, “DISEÑO DE UNA RED PON PARA LA EMPRESA VALLEVISIÓN EN LAS ZONAS DE TAMBILLO Y AMAGUAÑA”, realizado por William Bernabe Pillajo Tipantuña y Jonathan Vinicio Taipe Álvarez, obteniendo un producto que cumple con todos los requerimientos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2020



.....

PhD. Germán Vicente Arévalo Bermeo

C.I: 0103152500

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico esta tesis a Dios que me ha guiado durante todo este camino y me ha ayudado a resolver cada dificultad presentada en este trayecto, a mi padre Ramiro quien me ha impulsado cada día a continuar con esta meta en mi vida, al ser mi ejemplo a seguir, al enseñarme a no desmayar y al convertirme en la persona que soy ahora. A mi madre Fanny por darme su apoyo incondicional, su preocupación diaria en cada momento bueno y malo de mi carrera universitaria y al cuidarme cada instante de mi vida. A mis hermanos que me impulsaron a seguir y me han ayudado cuando lo necesitaba A Paola por acompañarme con tanto amor y comprensión desde el inicio hasta el final de este camino, por ser parte de mi vida y apoyarme en cada momento, dándome fortaleza cuando la necesitaba e impulsándome a ser mejor cada día. A mi mejor amiga por cada consejo dado en los momentos más difíciles, por su amistad que ha sido leal y el apoyo que siempre ha estado presente.

William

Quiero dedicar este trabajo en primer lugar a Dios que es uno de los pilares fundamentales en mi vida personal y profesional que me ha ayudado en cada uno de los obstáculos que se han presentado en la vida, a mis abuelos, a mis padres, Marco y Margarita, que han sido la motivación más grande para poder alcanzar cada una de las metas en mi vida, que siempre me han apoyado a pesar de cada una de las circunstancias y problemas durante el trayecto de mis estudios. A mi abuela, Angelita, quien fue una de las personas más importante en mi vida, quien siempre confió en mí y quien siempre me apoyo en todo momento. Dedico este trabajo a mis hermanos, Oscar y Katherine, quienes han sido un apoyo incondicional en el transcurso del avance en mi carrera. Finalmente, se lo dedico a cada uno de mis amigos que estuvieron en el transcurso de este camino con su apoyo incondicional en cada situación y experiencia vivida en la carrera.

Jonathan

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por ayudarme a conseguir mis metas y por bendecirme en este largo caminar, guiando los pasos que daba.

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por permitirme realizar mis estudios profesionales en sus instalaciones y de igual manera de la formación humana, también agradezco a los docentes que forman parte de la universidad quienes me han compartido sus conocimientos a nivel educativo y profesional.

A nuestro tutor el doctor Germán Arévalo PhD, que nos ha sabido guiar en el desarrollo de este trabajo mediante su conocimiento profesional y nos ha orientado en cada dificultad que se nos ha presentado.

A la Empresa Vallevisión por ayudarnos con sus conocimientos para el inicio de este proyecto y de igual manera para la finalización del mismo.

A mis amigos que fueron parte de este recorrido en la universidad, gracias por brindarme risas y alegrías, han hecho ameno cada instante en este trayecto.

William

Agradezco en primera instancia a Dios por siempre estar conmigo en cada una de las metas alcanzadas y en cada situación difícil de mi vida.

A mi familia por su apoyo incondicional y por el apoyo que me dieron en cada una de las etapas de mi formación profesional.

A cada uno de los docentes por haberme guiado en mi camino profesional no solo con conocimientos sino también con sus consejos para poder ser una mejor persona en la vida.

A nuestro tutor PhD. Germán Arévalo por habernos guiado de la mejor manera en cada una de las fases de elaboración del proyecto y también por cada uno de los conocimientos impartidos en el transcurso de la carrera.

A la Empresa Vallevisión quienes nos dieron la confianza y la ayuda en este tema para poderlo culminar de forma exitosa.

Jonathan

ÍNDICE GENERAL

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE GENERAL.....	vii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO 1.....	1
ANTECEDENTES	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Objetivos	1
1.3.1. Objetivo General	1
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. Metodología	2
CAPÍTULO 2.....	3
MARCO CONCEPTUAL	3
2.1. Redes PON	3
2.2. Soluciones Fiber to the “x” (FTTx)	3
2.3. Características de las PON	4
2.4. Estructura de la Red PON	5
2.5. Estándares PON	6
CAPÍTULO 3.....	9
ANÁLISIS Y DISEÑO.....	9
3.1. Introducción	9
3.2. Análisis de la red coaxial desplegada en Amaguaña	9
3.2.1. Headend.....	10
3.2.2. Red Troncal.....	11
3.2.3. Red de distribución	11
3.2.4. Red de acceso.....	12
3.3. Delimitación de áreas de estudio.....	13
3.4. Definición de estándar PON para el diseño	17

3.5. Diseño de la red GPON.....	18
3.5.1. Delimitación de áreas potenciales para el diseño.....	20
3.5.2. Determinación de áreas para el diseño de la red GPON	20
3.5.3. Dispositivos activos	22
3.5.4. Postería Utilizada	23
3.5.5. Enlace troncal.....	24
3.5.6. Cálculo de las tarjetas GPON.....	26
3.5.7. Selección de fibra óptica	27
3.5.8. Selección de tendido de la fibra óptica	31
3.5.9. Selección de la OLT.....	32
3.5.10. Selección de la ONT	33
3.6. Diseño de la ODN	34
3.6.1. Ubicación de los splitters	35
3.6.2. Red de dispersión	41
3.6.3. Red de distribución	43
3.6.4. Red Feeder	44
3.6.5. Esquema de la red GPON	45
3.7. Tendido de cable óptico	46
3.8. Presupuesto óptico en casos más críticos.....	48
3.8.1. Usuario más lejano.....	49
3.9. Simulación de la red GPON.....	52
3.9.1. Bloque del transmisor	53
3.9.2. Bloque del receptor	53
3.9.3. Bloque de distribución óptica	53
3.9.4. Análisis de los resultados obtenidos	53
CAPÍTULO 4.....	56
ANÁLISIS DE COSTOS	56
4.1. Introducción	56
4.2. Costos de implementación	56
4.3. Planes a ofertar.....	56
4.4. Evaluación de inversión del proyecto	57
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	61
REFERENCIAS.....	62

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Soluciones FTTx.....	3
Figura 2.2 Terminología PON.....	5
Figura 2.3 Evolución de los estándares PON.....	6
Figura 3.1 Red actual de Amaguaña	9
Figura 3.2 Despliegue de la red en QGIS	10
Figura 3.3 Red troncal de la red en QGIS	11
Figura 3.4 Red de distribución de la red en QGIS	12
Figura 3.5 Red de distribución de la red en QGIS	12
Figura 3.6 Definición de área de estudio Zona 1 (Amaguaña)	13
Figura 3.7 Definición de área de estudio Zona 2 (Tambillo).....	14
Figura 3.8 Punto del polígono del área de estudio de la Zona 1 y 2	14
Figura 3.9 Identificación de edificaciones en las áreas de estudio	15
Figura 3.10 Áreas delimitadas para el diseño de la red GPON.....	20
Figura 3.11 Amaguaña: Zona A y Zona B.....	21
Figura 3.12 Tambillo: Zona A, B, C, D y E.....	22
Figura 3.13 Dispositivos activos de la red	23
Figura 3.14 Postería utilizada en el diseño GPON.....	23
Figura 3.15 Recorrido de la red troncal de la red.....	25
Figura 3.16 Recorrido de enlace troncal Tambillo.....	26
Figura 3.17 Esquema de ubicación de Splitteo.	35
Figura 3.18 Identificación de usuarios potenciales en QGIS	36
Figura 3.19 Grupo de 64 usuarios Sector Tambillo Zona A	37
Figura 3.20 Distribución de splitter 1:4	37
Figura 3.21 División de grupos de usuarios segundo splitteo.....	38
Figura 3.22 Distribución de splitters de 1:16	39
Figura 3.23 Base de datos de usuarios y niveles de splitteo	40
Figura 3.24 Esquema de Red de dispersión	41
Figura 3.25 Splitter 1:4 con cajas NAP.....	42
Figura 3.26 Área de dispersión por NAP.....	42
Figura 3.27 Distancia recorrida del cable óptico de distribución.....	44
Figura 3.28 Esquema Red Feeder	44
Figura 3.29 Esquema de diseño de la Red GPON	45

Figura 3.30 Distancias para la instalación de tendido de cables	47
Figura 3.31 Escenario de usuario más lejano con pérdidas máximas	49
Figura 3.32 Distancia total recorrida en el trayecto hasta el usuario más lejano.	50
Figura 3.33 Grafica BER vs Potencia de recepción	54
Figura 3.34 Diagrama de ojo del enlace OLT/ONT	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Área y perímetro de las áreas de estudio.....	14
Tabla 3.2 Clientes Potenciales de las áreas de estudio.....	16
Tabla 3.3 Tecnologías PON	17
Tabla 3.4 Diagrama de demanda vs GPON EPON	18
Tabla 3.5 Número de puertos OLT para cubrir la demanda	26
Tabla 3.6 Fibra óptica recomendada para la Red GPON	29
Tabla 3.7 Tipo de cable recomendado para la red GPON.....	31
Tabla 3.8 Tabla comparativa de modelos OLT.....	33
Tabla 3.9 Tabla comparativa de modelos ONT	34
Tabla 3.10 Número de splitter por Zonas	40
Tabla 3.11 Tabla resumen de las normativas	46
Tabla 3.12 Características del módulo SFP GPON	48
Tabla 3.13 Sensibilidad Rx y Tx de los elementos activos de la red GPON	49
 Tabla 4.1 Tabla de costos de equipos a implementar	 56
Tabla 4.2 Planes recomendados a ofertar.....	57

RESUMEN

El presente trabajo de titulación trata sobre el diseño de una red PON para ofertar servicios de Televisión por cable e Internet. Debido al auge de la nueva tecnología y de las necesidades de los usuarios de disponer mayor ancho de banda, es necesario actualizar la red que dispone actualmente Vallevisión.

Se hizo una comparación entre la tecnología EPON y GPON para realizar el diseño, por lo cual se elige la tecnología GPON. El diseño se realizó en el software QGIS, mediante el software se georreferencia los elementos a utilizar en todo el diseño y se trabaja con el mapa de OpenStreetMap, en el cual se levantó la información de los hogares existentes en Tambillo y Amaguaña.

Una vez georreferenciado cada uno de los elementos se procede a obtener al usuario más lejano para realizar la simulación respectiva y garantizar el diseño de la red. La simulación se realiza mediante el software OptSim donde se obtuvo la gráfica del BER vs Prx y el diagrama de ojo, mediante las gráficas se verifica el rendimiento óptimo de la red diseñada.

Se realiza un análisis económico para observar la factibilidad de la implementación de la red tanto en los gastos de implementación y en las ganancias generadas, por lo cual se establece que la implementación de la red diseñada es apta.

ABSTRACT

This degree work is about the design of a PON network to offer cable TV and Internet services. Due to the rise of new technology and the needs of users to have more bandwidth, it is necessary to update the network currently available by Vallevisión.

A comparison was made between EPON and GPON technology to perform the design, which is why GPON technology is chosen. The design was carried out in the QGIS software, through the software the elements to be used throughout the design are georeferenced and the OpenStreetMap map is worked on, in which the information of the existing homes in Tambillo and Amaguaña was collected.

Once each of the elements is georeferenced, the farthest user is obtained to perform the respective simulation and guarantee the design of the network. The simulation is carried out using the OptSim software where the BER vs Prx graph and the eye diagram were obtained, using the graphs the optimal performance of the designed network is verified.

An economic analysis is carried out to observe the feasibility of the implementation of the network both in the implementation expenses and in the profits generated, so it is established that the implementation of the network designs is suitable.

INTRODUCCIÓN

En el presente Trabajo de Titulación se da a conocer el diseño de una red PON para prestar los servicios de televisión por cable e internet, este diseño va de la mano de conocimientos teóricos y funcionales acerca de redes de fibra óptica.

Actualmente la Empresa Vallevisión brinda el servicio de televisión por cable a través de una red de cable coaxial, por la cual tiene pérdidas en la transmisión de datos y como consecuencia pérdidas de clientes, significando pérdidas económicas.

El proyecto comienza con el levantamiento actual de la infraestructura externa de Vallevisión, donde se conocerán los equipos existentes y los recursos tecnológicos que dispone la Empresa. Mediante este estudio se define los conceptos necesarios para realizar la base del diseño de la red PON.

Ya definidas las áreas de cobertura, se realiza el diseño de la red PON, determinando las Zonas a cubrir y la topología a realizar en el diseño. Posteriormente se calcula el presupuesto óptico necesario para el correcto funcionamiento de la red, al igual que se realizan simulaciones en el software OptSim para determinar las pérdidas que se obtendrán en casos críticos y así garantizar el desempeño de la misma.

Una vez finalizada la simulación, se presenta un análisis financiero para mostrar la factibilidad y viabilidad de la implementación del diseño.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones encontradas a lo largo del desarrollo de este trabajo.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1. Planteamiento del problema

La Empresa Vallevisión brinda el servicio de televisión por cable a través de una infraestructura de cable coaxial.

Debido a los requerimientos de escalabilidad de la Empresa y la demanda de cada usuario por disponer de televisión por cable e internet en un solo proveedor, se ha registrado un aumento de cancelación de contratos.

Por otra parte, la competitividad con los demás proveedores viene siendo baja, debido a los fallos de transmisión y la falta de servicios, provocando que los usuarios elijan otro proveedor.

1.2. Justificación

La Empresa requiere actualizar la tecnología con la cual brinda su servicio, a una red PON, ya que ofrece una alta velocidad de transmisión tanto para Downstream como para Upstream y en la cual se pueda implementar más de un servicio, como lo es televisión por cable e internet.

Con la actualización de la red se da la competitividad en el mercado ofreciendo una transmisión de calidad y apta para futuras necesidades que implicarían el crecimiento de usuarios en la red como en el ancho de banda del internet.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar una red PON para la prestación de los servicios de televisión por cable e internet de la Empresa Vallevisión en las Zonas Tambillo y Amaguaña.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar los requerimientos de la red PON para la prestación de los servicios de televisión por cable e internet.
- Diseñar la red PON en base a los criterios y parámetros de demanda, ubicación geográfica de usuarios e infraestructura de planta externa actualmente existente para la prestación de los siguientes servicios como son televisión por cable e internet.
- Simular la red PON a ser implementada utilizando el software OptSim para el ajuste de los parámetros de diseño mediante el análisis de los resultados obtenidos.
- Analizar los costos del diseño para su futura implementación.

1.4. Metodología

El presente proyecto brindará una solución en cuanto a la incorporación de otro servicio y una notable mejora en la transmisión de la señal de televisión por cable. Esto se consigue actualizando la tecnología a una red PON, permitiendo una alta velocidad de transmisión y garantizando la escalabilidad de la red.

La red existente posee un despliegue de red con cable coaxial, el cual brinda el servicio de televisión por cable. Para alcanzar altas velocidades de transmisión sin causar pérdidas de datos se migra la planta externa a una red óptica.

CAPÍTULO 2

MARCO CONCEPTUAL

2.1. Redes PON

Las redes PON (Redes Ópticas Pasivas) son redes punto-multipunto desplazadas mediante fibra óptica, en la cual se usan componentes pasivos desde el origen de la red hasta los usuarios finales, significa que la red cubre la última parte de la red pública y que llega hasta el usuario final. Un usuario final puede ser de dos tipos (muy distintos) (Abreu, 2016) :

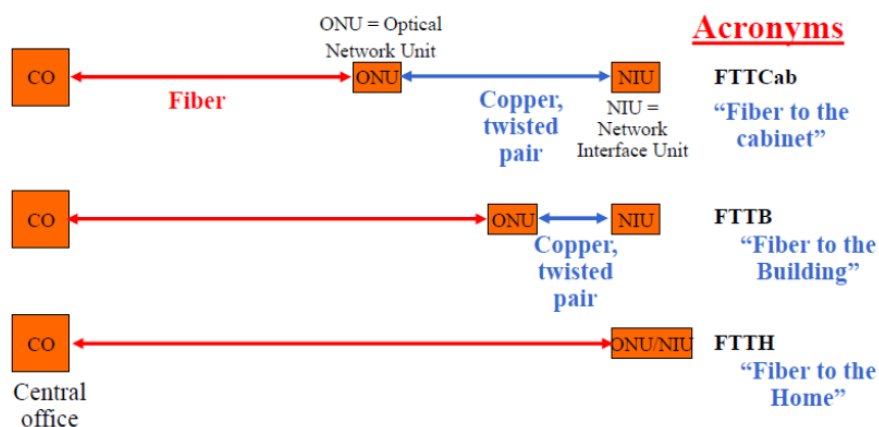
- Corporativo (Business)
- Residencial

Hay diferentes formas de llevar esta red hacia el usuario: las redes FTTcab (Fiber to the Cabinet, Fibra al gabinete), FTTB (Fiber to the Building, Fibra al edificio) y FTTH (Fiber to the Home, Fibra hasta el hogar). Dependiendo del despliegue, hasta el lugar que llegue la fibra óptica van tomando estas formas, a partir de ahí se despliega par de cobre hacia el usuario (Arévalo, 2018).

2.2. Soluciones Fiber to the “x” (FTTx)

La idea central de estas soluciones es tender lo más cercano la fibra óptica al usuario final. Existen diferentes formas de tender la fibra como se muestra en la Figura 2.1.

Figura 2.1 Soluciones FTTx



FTTx principales soluciones, (Arévalo, 2018)

- **FTTcab:** La infraestructura FTTcab, representa una estructura que lleva la fibra óptica hacia el gabinete, el cual se encuentra en la calle a una distancia próxima de 500m hasta el usuario final (Adell Hernani, Enriquez Gabeiras, & Álvarez, 2015).
- **FTTB:** Sus siglas significan fibra hasta el edificio, lo que representa el tendido de fibra óptica que llega hasta la parte central de un edificio o un conjunto habitacional, una vez llegada a la parte central se despliega par de cobre hacia los usuarios finales (Adell Hernani, Enriquez Gabeiras, & Álvarez, 2015).
- **FTTH:** Fibra hasta el hogar, esta infraestructura tiene un tendido netamente de fibra óptica que va desde la oficina central hasta el usuario final, teniendo una gran ventaja en aprovechar todas las características que ofrece la fibra óptica (Adell Hernani, Enriquez Gabeiras, & Álvarez, 2015).

Teniendo en cuenta todas estas soluciones se llega a tener ventajas y desventajas, en la utilización de las mismas.

Como ventajas se resuelve completamente cualquier limitación raZonable de ancho de banda, al igual de las distancias significativamente más largas, si llega a ser necesarias (Arévalo, 2018).

Por otro lado se necesita un recableado completo para el acceso hacia el usuario final, se deberá incorporar un nuevo módem óptico en cada hogar (Arévalo, 2018).

2.3. Características de las PON

La red PON se caracteriza por no poseer dispositivos activos en su enlace, solo trabaja con dispositivos pasivos, esto representa un costo más bajo en la implementación y puede llegar a distancias de 20 Km.

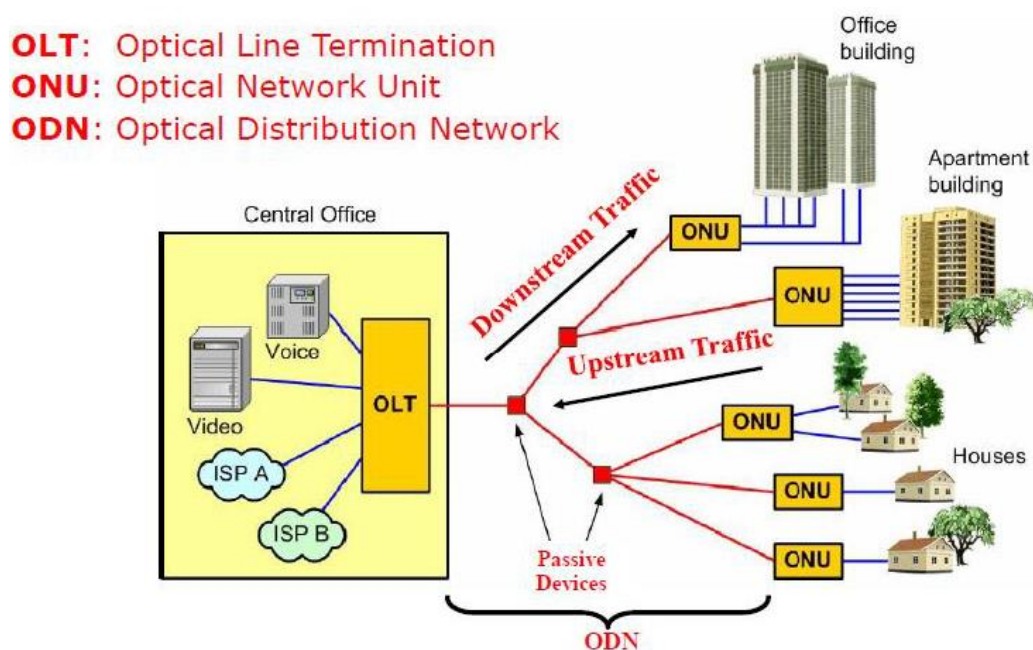
Al usar solo dispositivos pasivos, emplean multiplexaciones Time Division Multiplexing (Multiplexación por división de tiempo, TDM) o TDM/Wavelength Division Multiplexing (Multiplexación por división de longitud de onda, WDM) que ayuda a obtener una compartición de la red, en la cual se puede tener un mayor

número de usuarios al igual que un mayor ancho de banda (Adell Hernani, Enriquez Gabeiras, & Álvarez, 2015).

2.4. Estructura de la Red PON

En una red PON se encuentran los siguientes elementos: Optical Line Termination (Terminal de línea óptica, OLT), Optical Network Unit (Unidad de red óptica, ONU) y Optical Distribution Network (Red de distribución óptica, ODN). En la Figura 2.2 se observa los elementos que componen la red PON.

Figura 2.2 Terminología PON



Terminología de los diferentes elementos de la red PON, (Arévalo, 2018)

- **OLT:** Este equipo se encuentra en la oficina central del proveedor de servicios, mediante este dispositivo se tiene los puertos PON para el despliegue de la red. Este equipo actúa como enrutador, controlando la información de envío y retorno que el equipo final solicita. Por lo tanto, trabaja en sentido ascendente y descendente, para tráfico de datos, voz y video (Brasero Herranz, 2017).
- **ONU:** Este dispositivo es ubicado en el hogar de cada abonado y mediante el cual tendrá acceso a los servicios que da el proveedor. El equipo está encargado en convertir las señales ópticas en señales

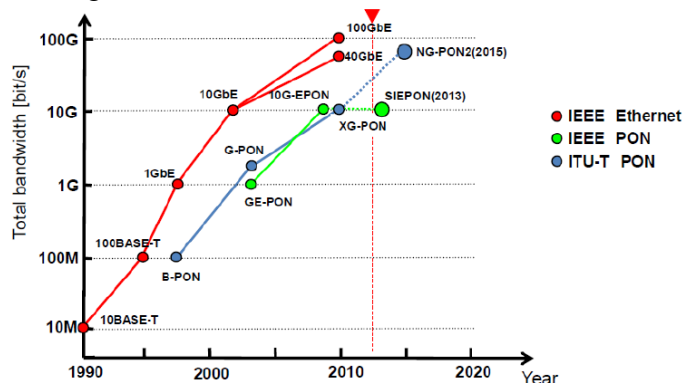
eléctricas y de gestionar cada uno de los servicios que se presta (Brasero Herranz, 2017).

- **ODN:** Es el medio de transmisión de fibra óptica que realiza la conexión entre la OLT y las ONU. La distancia máxima que es permitida depende del estándar que se vaya a utilizar. Dentro de la ODN se encuentran diferentes elementos tales como son: la red Feeder de fibra óptica, splitters, fibra óptica de distribución, fibra óptica de dispersión y los componentes auxiliares que son utilizados para acoplar cada uno de ellos (Brasero Herranz, 2017).

2.5. Estándares PON

Al ser PON un área fundamental en el sector de las telecomunicaciones por las prestaciones que da, es necesario que se tenga una estandarización internacional para poder tener un buen rendimiento en todas partes del mundo. Hay dos principales organizaciones de estandarización en este campo que son: International Telecommunication Union (Unión Internacional de Telecomunicaciones, ITU-T) y Institute of Electrical and Electronic Engineers (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, IEEE). En cada uno de ellos existen varios y diferentes estándares de las redes PON, de las cuales su principal e importante variación es la velocidad de transmisión y recepción. Para la ITU se tiene los estándares B-PON, GPON, XG-PON, NGPON2; mientras que para la IEEE los estándares son: EPON, 10GEPON (Adell Hernani, Enriquez Gabeiras, & Álvarez, 2015). En la Figura 2.3 se observa la evolución de los estándares, esta evolución tiene como característica el incremento del ancho de banda.

Figura 2.3 Evolución de los estándares PON



Hay características comunes que se tienen entre los estándares PON, cada una de ellas marcan una relevancia de lo que significa las redes PON. Estos estándares tienen una topología de tipo estrella o árbol desde la oficina central hasta los usuarios finales usando los llamados Splitters o divisores de potencia pasivos. Al ser una red óptica pasiva no se usa amplificadores o dispositivos activos ópticos a lo largo de la ODN y tienen una transmisión bidireccional usando una sola fibra óptica con diferentes longitudes de onda, para el tráfico de bajada (Downstream) se usa longitudes de onda alrededor de 1500nm y para el tráfico de subida (Upstream) se usan longitudes de onda de alrededor de 1300nm (Graf & Lattanzi, 2012).

- **EPON (Ethernet Passive Optical Networks):** Las redes EPON se rigen bajo la norma Ethernet IEEE 802.3ah, en la cual tienen ciertas características fundamentales, por ejemplo, la velocidad para el Downstream y Upstream son las mismas, es simétrica con una velocidad de 1,25 Gbit/s, estas también soportan enlaces punto-multipunto (Graf & Lattanzi, 2012).
- **10G-EPON:** Esta es destacada por permitir dos modos para las velocidades de Downstream y Upstream, las cuales son: 10 Gbps/ 10Gbps y 10 Gbps / 1Gbps, siendo compatible con equipos de redes EPON, por ello es conocida como Next Generation EPON, siendo esta una evolución del estándar EPON (Notario, 2015).
- **GPON (Gigabit Passive Optical Networks):** Las redes GPON tienen su estandarización basado en las recomendaciones de la ITU-T G.984.x, en donde las velocidades de Downstream y Upstream son asimétricas. Para Upstream se tiene una velocidad de 1,244 Gbit/s y para el sentido de Downstream se usa una velocidad de 2,448 Gbit/s, con esto se considera 7 combinaciones de velocidades de transmisión. Además, se puede demultiplexar hasta para 64 usuarios por cada línea de GPON (Graf & Lattanzi, 2012).
- **XG-PON:** Es un avance en relación con GPON sobre las recomendaciones para llegar a una capacidad de 10 Gbit/s y estandarizarlo, las cuales son las recomendaciones ITU-T G.987.x, dando

compatibilidad con equipos utilizados en GPON. En XG-PON se usa una multiplexación WDM que de igual manera está definida en las recomendaciones G.984.x, lo cual da una migración perfecta de GPON a XG-PON y con un alcance de 40km (Notario, 2015).

- **NGPON2:** Se aprueba la norma ITU-T G.989 para llegar a velocidades mayores, donde se eleva la velocidad de transmisión a 40 Gbit/s en las redes FTTH. En la estandarización se tiene al menos cuatro longitudes de onda por dirección, cada una de ella en Downstream alcanza 10 Gbit/s y para Upstream varía desde 2.5 a 10 Gbit/s, entregando menores bit rates de ser necesario. En cada longitud de onda se usa TDM sobre WDM denominada Time and Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Networks (División de tiempo y longitud de onda en redes ópticas pasivas multiplexadas, TWDM-PON) (Arévalo, 2018).

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y DISEÑO

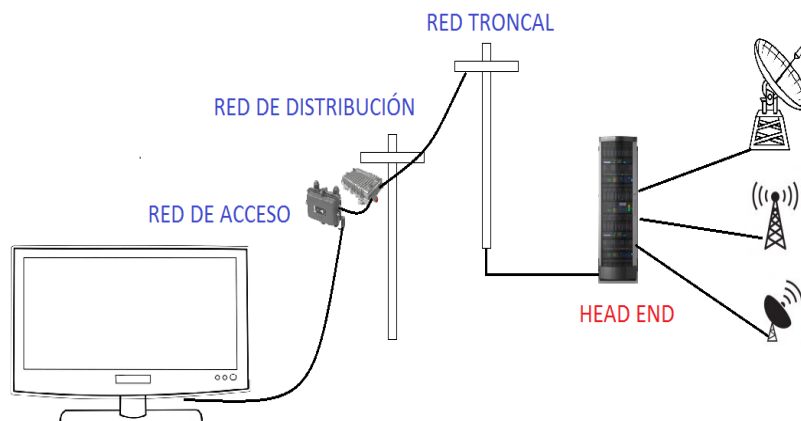
3.1. Introducción

En este capítulo se presenta un resumen de la red coaxial existente actualmente en el sector de Amaguaña del Cantón Mejía, se define las áreas de estudio donde se brindará cobertura con la nueva red. Se identifica cada uno de los usuarios existentes en los sectores de Tambillo y Amaguaña, posteriormente se analiza que tecnología de PON es la adecuada y se realiza el diseño para así finalmente presentar el presupuesto óptico de la red diseñada en su caso más crítico.

3.2. Análisis de la red coaxial desplegada en Amaguaña

La topología de la red está compuesta por cuatro partes, que son: red de acceso, red de distribución, red troncal y encabezado (Headend). Como se puede identificar en la Figura 3.1.

Figura 3.1 Red actual de Amaguaña

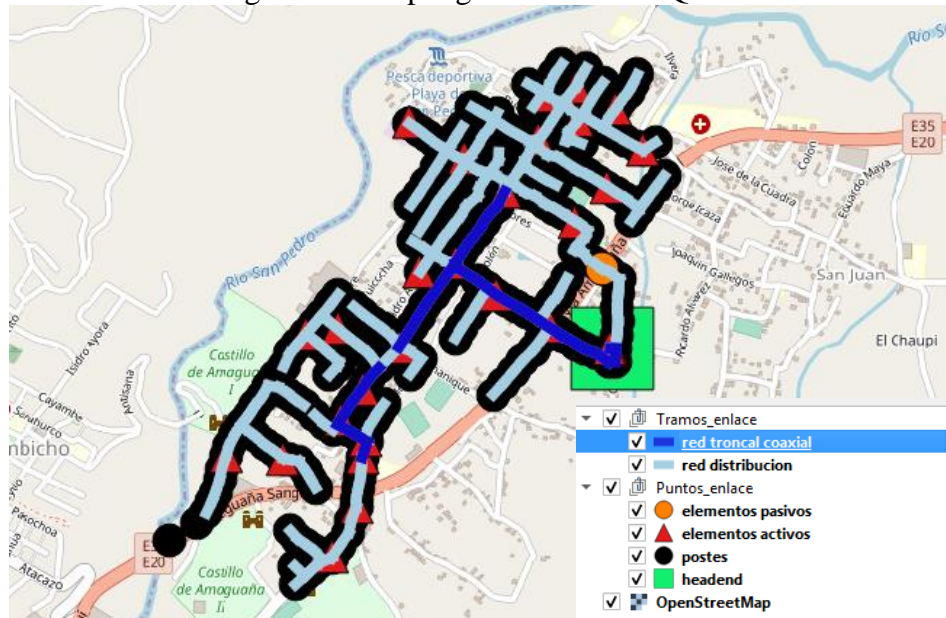


Red existente desplegada en el sector de Amaguaña, (Pillajo & Taipe, Red actual de Amaguaña, 2019)

Explicando, brevemente, en la red de acceso tenemos equipos que permiten la conexión del abonado al servicio, permitiendo más de un subcriptor. Para la red de distribución existen amplificadores para extender la señal a diferentes lugares de la Parroquia. En la red troncal se encuentra el nodo óptico el cual se comunica con el Headend. El Headend es donde se recibe las señales satelitales para la transmisión hacia los subcriptores. En la Figura 3.2 se muestra el despliegue de la red existente

en la Parroquia de Amaguaña (red troncal, red de distribución, puntos de enlace, elementos activos, postes y el Headend).

Figura 3.2 Despliegue de la red en QGIS



Ubicación de los diferentes elementos existentes en la red desplegada en Amaguaña, (Pillajo & Taipe , Red actual en Amaguaña representada en QGIS, 2019)

3.2.1. Headend

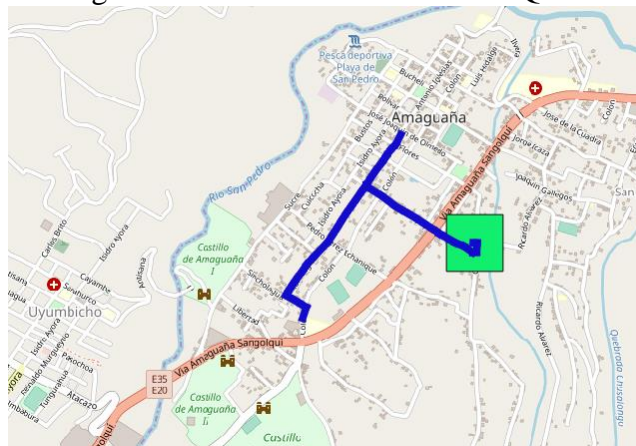
Actualmente en la red se hace la adquisición de la señal para los canales satelitales y locales. Para la obtención de las señales de los canales satelitales se usa un arreglo de antenas de diferentes dimensiones de marca PATRIOT, las señales que se reciben son de los satélites INTELSAT 34, INTELSAT 21, INTELSAT 14, INTELSAT 11, HISPASAT, EUTELSAT 117, SES6, mientras que para la recepción de los canales locales se usa una antena logarítmica WINEGARD.

Una vez recibidas las señales se ingresan al proceso de modulación donde se ajusta cada señal precedente del satélite a una frecuencia diferente, una vez modulada cada una de las señales se agrupan en una sola señal en banda ancha. Finalmente, agrupadas todas las señales recibidas, se transmiten mediante un transmisor óptico hacia la red troncal que llevará el servicio hacia los diferentes abonados.

3.2.2. Red Troncal

La red troncal se encuentra conectada mediante fibra óptica al transmisor óptico del Headend, el cual lleva la información de las señales satelitales y de los canales de VHF-UHF a los nodos de distribución ópticos de banda ancha ISX3040, de los nodos parten a los primeros extensores de línea a través del cable coaxial RG500, el cual cuenta con una parte galvanizada que sirve para el despliegue del cable y evitar que el cable coaxial sufra daños. En la Figura 3.3 se observa el despliegue de la red troncal (línea azul) que parte desde el Headend (cuadro verde) hacía los elementos activos de la red de distribución.

Figura 3.3 Red troncal de la red en QGIS

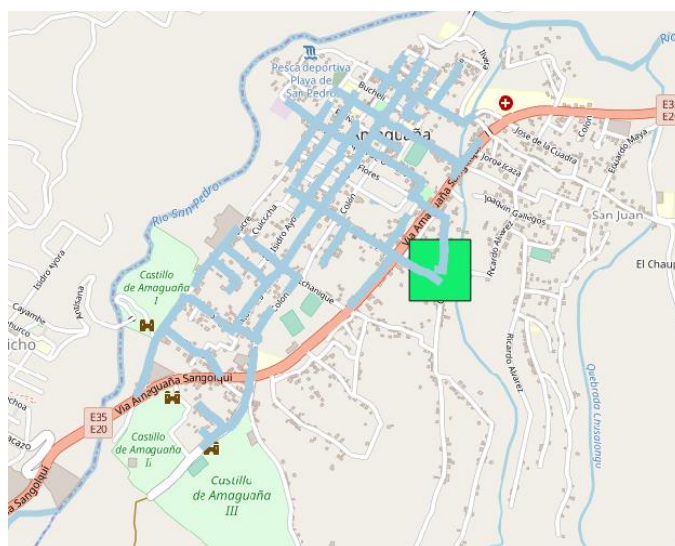


Red troncal desplegada en Amagüaña en QGIS, (Pillajo & Taípe , Red actual en Amagüaña representada en QGIS, 2019)

3.2.3. Red de distribución

En la red de distribución se utilizan extensores de línea, estas ayudan a que la potencia de la señal llegue sin pérdidas altas. El despliegue a partir de los extensores va mediante cable coaxial RG-11, estos extensores van hacia los taps donde empieza la red de acceso, en la Figura 3.4 se muestra el despliegue de la red de distribución (línea celeste) a través de la Parroquia de Amagüaña hasta cada uno de los elementos activos o taps.

Figura 3.4 Red de distribución de la red en QGIS

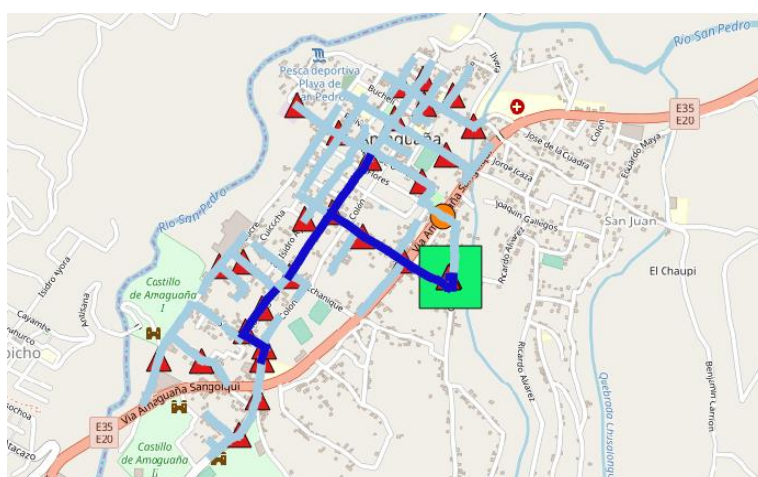


Red de distribución desplegada en Amaguaña en QGIS, (Pillajo & Taípe , Red actual en Amaguaña representada en QGIS, 2019)

3.2.4. Red de acceso

La red de acceso está compuesta por los taps que son conectados a los dispositivos de los usuarios mediante un cable coaxial RG-6. Los taps se encuentran representados por los triángulos de color rojo. En la Figura 3.5 se divide la red troncal (línea azul), red de distribución (línea celeste) y los taps que son representados por triángulos de color rojo usados para la red de acceso.

Figura 3.5 Red de acceso de la red en QGIS



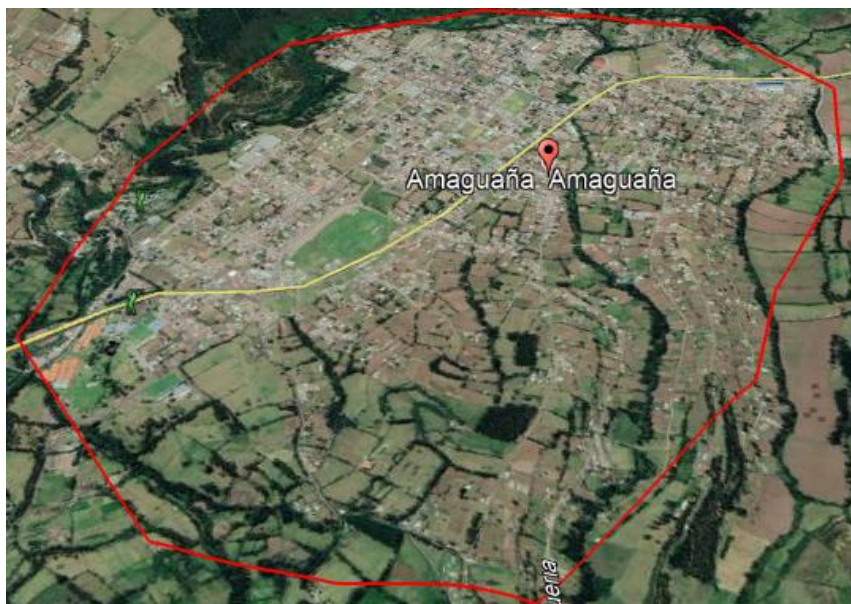
Red de acceso desplegada en Amaguaña en QGIS, (Pillajo & Taípe , Red actual en Amaguaña representada en QGIS, 2019)

3.3. Delimitación de áreas de estudio

Para el desarrollo del diseño se identifica cada una de las áreas de estudio en este caso las Zonas de Tambillo y Amaguaña. Como primer punto se determina el área y perímetro de cada una de las Zonas. Para el tema de diseño se ha dividido en dos Zonas: Amaguaña (Zona 1) y Tambillo (Zona 2), esto debido al despliegue parcial que va a realizar la Empresa.

La Zona 1, Amaguaña, se extiende desde la calle Antonio José de Sucre que se despliega por todo el sector occidental de la Parroquia de Amaguaña. La avenida Panamericana Sur atraviesa por medio de la Parroquia de Amaguaña. Al occidente de la avenida se encuentra la mayoría de la población, en la cual está la mayoría de sus usuarios. Mientras que en la parte oriental esta la calle principal Antonio Vicente Maldonado, donde se localiza una pequeña porción de usuarios de Vallevisión. En la Figura 3.6 se observa la Parroquia de Amaguaña limitada con la línea de color rojo.

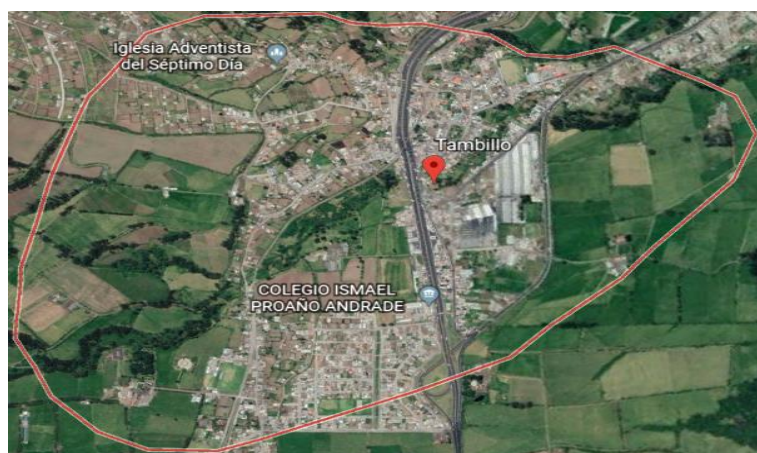
Figura 3.6 Definición de área de estudio Zona 1 (Amaguaña)



Definición del área de estudio en Amaguaña, (Earth, 2016)

La Zona 2, Tambillo, que tiene como referencia el Barrio Paraíso y el Parque Central de Tambillo, cuyo eje principal es la Avenida Pedro Vicente Maldonado que atraviesa por todo el sector a brindar el servicio y la avenida Panamericana Sur. La Zona se puede evidenciar en la Figura 3.7.

Figura 3.7 Definición de área de estudio Zona 2 (Tambillo)



Definición del área de estudio en Tambillo, (Earth, 2016)

Con la herramienta en línea de Google Earth se realiza el cálculo de la superficie y el perímetro del área de estudio de la Zona 1 y de la Zona 2, como se puede observar en la Figura 3.8. En la Tabla 3.1 se registra el área y el perímetro de Amaguaña y Tambillo.

Tabla 3.1 Área y perímetro de las áreas de estudio.

Área de estudio	Área	Perímetro
Zona 1 (Amaguaña)	5.22 km ²	8.47 km
Zona 2 (Tambillo)	2.88 km ²	6.691 km

Obtención del área y perímetro mediante los polígonos realizados, (Earth, 2016)

Dando un total de un área a cubrir de la demanda de 8km² y un total de perímetro de 15.161km. Las cuales se las tomará en cuenta para la realización del diseño.

Figura 3.8 Punto del polígono del área de estudio de la Zona 1 y 2



Polígono para determinar el área a cubrir en las Zonas de estudio, (Earth, 2016)

Se caracteriza cada uno de los usuarios que van a existir en los sectores de Tambillo y Amaguaña a través del software en línea de OpenStreetMaps. Para la obtención de cada uno de los posibles usuarios en las áreas de estudio, se utiliza la herramienta StreetView de Google Maps y así se identifica las diferentes edificaciones en los sectores. En los lugares que StreetView no ofrecía el servicio en línea, se procedió a realizar visitas personales en los barrios para identificar el número de casa y de pisos de los mismos y después registrarlos en OpenStreetMaps. Este inconveniente surgió en ciertas Zonas donde no existe cobertura por parte de Google Maps, debido al estado en que se encuentran las calles y caminos existentes en las Parroquias. La identificación de edificaciones se la puede observar en la Figura 3.9, está dividido en a) que corresponde a la Parroquia de Tambillo y b) a la Parroquia de Amaguaña.

Figura 3.9 Identificación de edificaciones en las áreas de estudio



Mapeo de las edificaciones en las Zonas de Tambillo y Amaguaña, (Pillajo & Taipe, Identificación de edificaciones en Tambillo y Amaguaña en OpenStreetMap, 2019)

Al finalizar la identificación de los diferentes hogares, locales e instituciones se puede presentar los clientes potenciales, los cuales se encuentran detallados en la Tabla 3.2.

La Empresa para la cual va dirigido el diseño solo brindará el servicio a hogares por lo tanto se excluyen los clientes que no cumplan con este requerimiento y así se logra obtener que el número total de usuarios es de 789 en la Zona 1 y 1172 en la Zona 2, dando un total de 1961 usuarios a estos se debe dar cobertura de los servicios con la red.

Tabla 3.2 Clientes Potenciales de las áreas de estudio

Áreas de estudio	Clientes	Cantidad
Zona 1 (Amaguaña)	Industrias	5
	Instituciones	8
	Educativas	
	Bancos y	4
	Cooperativas	
	Locales	19
	Comerciales	
	Gasolineras	1
	Hosterías	2
	Conjuntos	2
	Residenciales	
	Hogares	789
Zona 2 (Tambillo)	Industrias	5
	Instituciones	3
	Educativas	
	Bancos y	3
	Cooperativas	
	Locales	14
	Comerciales	
	Gasolineras	3
	Hosterías	3
	Hogares	1172
Total	Industrias	10
	Instituciones	11
	Educativas	
	Bancos y	7
	Cooperativas	
	Locales	33
	Comerciales	
	Gasolineras	4
	Hosterías	5
	Conjuntos	2
	Residenciales	
	Hogares	1961

Clientes potenciales totales para el diseño de la red, (Pillajo & Taipe, Identificación de edificaciones en Tambillo y Amaguaña en OpenStreetMap, 2019)

3.4. Definición de estándar PON para el diseño

Considerando que el servicio que tiene como objetivo ofertar es Televisión por cable (CATV) e Internet, se toman en cuentas los estándares GPON y EPON. A continuación, se presenta la Tabla 3.3 de las características como: estandarización, velocidades, modos de tráfico de voz y video, splitteo máximo, balances de potencia y el alcance máximo que posee cada uno de los estándares.

Tabla 3.3 Tecnologías PON

Características	EPON	GPON
Estandarización	IEEE 802.3 ah	ITU-T G.984
Velocidad máxima	Simétrico 1.25 Gbit/s	Configurable en 7 posibles combinaciones, típicamente: Downstream 2.5 Gbit/s Upstream 1.25 Gbit/s
Modos de tráfico	Ethernet	ATM, Ethernet o TDM
Voz	VoIP	ATM, VoIP o TDM
Video	RF o IP	RF o IP
Balances de Potencia ODN	21-26 dB	20-30 dB
Splitteo máximo	16-32	64
Alcance	10-20 Km	Hasta 20 o 40 Km

Características de los estándares EPON y GPON, (Abreu, 2016) (López, Moschim, & Rudge, 2009)

En base a los requerimientos que exigen las Zonas a dar cobertura se presenta el siguiente diagrama comparativo donde se evalúa las características frente a las demandas que debe cubrir el diseño y así elegir el mejor estándar. Se toma en cuenta las consideraciones sobre el ancho de banda necesaria, los usuarios totales que pertenecerán a la red diseñada y la escalabilidad que tendrá al usar el estándar. En la Tabla 3.4 se presentan las características de EPON y GPON frente a la demanda que tendrá la red.

Tabla 3.4 Diagrama de demanda vs GPON EPON

Demanda	EPON	GPON
Usuarios por PON		
para CATV e	32	64
Internet (10 Mbps)		
Usuarios por PON		
para CATV e	32	64
Internet (20 Mbps)		
1930 usuarios		
(Puertos OLT)	61 puertos	31 puertos
Splitteo para los	Primer nivel de 1:4 = 61	Primer nivel de 1:4 = 31
1930 usuarios	Segundo nivel de 1:8 = 242	Segundo nivel de 1:16 = 124
Distancia máxima de		
trayecto (8 Km)	10-20 km	20-40 km
Puertos libres totales		
en los <u>splitter</u>	22 puertos libres	54 puertos libres

Comparación entre la demanda y los estándares EPON - GPON para la elección del diseño. Elaborado por: William Pillajo & Jonathan Taipe

Como se observa en la Tabla 3.4, se determinó que el estándar GPON es el que mejor se adapta a la demanda de las Zonas de estudio debido al alcance que tendría la red para llegar a lugares más distantes y obtener nuevos usuarios, de igual manera el número de equipos utilizados para satisfacer el total de usuarios es menor en la tecnología GPON, por lo tanto se reducen los costos para la implementación representando un ahorro significativo para la Empresa y dando una escalabilidad para futuros usuarios.

3.5. Diseño de la red GPON

Para empezar el diseño se realiza un estudio de las áreas donde se brindará el servicio, al tener ya caracterizados los hogares en ambas Parroquias se procede a

hacer una diferenciación por Zonas en cada una de las mismas. Posteriormente se identifica el número de usuarios por Zonas y así se tiene una mejor perspectiva del despliegue de la red. Se identifica la postería a utilizar para el recorrido que va a tener la red a través de las Parroquias tomando en cuenta que el diseño es mediante una topología tipo árbol (Espinosa & Quisnancela, 2016). Después se procede a realizar el despliegue de cada una de las etapas de la red.

En el diseño de la red se va utilizar dos niveles de splitteo, ya que los usuarios por cada puerto GPON tiene un alcance de 64 usuarios. El primer nivel de splitteo es de 1 a 4 y posteriormente de a 1 a 16.

En la normativa ITU-T G.984.x que se maneja actualmente para GPON se utiliza una topología tipo árbol, esta es muy recomendable ya que en procesos de escalabilidad ayuda mucho. Mediante esta topología se puede agregar usuarios a futuro o a su vez se puede dispersar a áreas diferentes cercanas.

Actualmente se maneja el estándar ITU-T G.984 (Espinosa & Quisnancela, 2016) , GPON soporta longitudes de onda de 1310nm, 1490nm y 1550nm. En este diseño GPON se utiliza la longitud de onda de 1310nm para el canal Upstream, para la recepción de datos de la Optical Network Termination (Punto de terminación óptico, ONT) hacia la OLT. De la misma forma se utiliza la longitud de onda de 1490nm para el canal de Downstream, para la transmisión de datos desde la OLT hacia la ONT. En este mismo canal a través del equipo Erbium Yterbium Doped Fiber Amplifier (Amplificador de Fibra Dopada de Erbio y Yterbio, EYDFA) se transmite CATV en la longitud de 1550nm.

Cada puerto GPON posee un splitteo máximo de 64 usuarios, por lo tanto, el diseño será dimensionado bajo este criterio. Teniendo como máximo 64 clientes por puerto, la red de distribución se manejará una fibra de 8 hilos hacia el primer splitteo 1:4 y a su vez con una fibra de 24 hilos hacia el segundo splitteo de 1:16 con un total de 16 clientes por hilo de fibra.

3.5.1. Delimitación de áreas potenciales para el diseño

Para la Parroquia de Amaguaña se tiene un área de 1.468 km² y para la Parroquia de Tambillo se debe cubrir un área de 2.163 km², teniendo un total de 1.961 usuarios que corresponden a hogares para los que está dirigido el diseño ya que este es el mercado de la Empresa Vallevisión.

Figura 3.10 Áreas delimitadas para el diseño de la red GPON



Delimitación de las áreas para el diseño de la red en Tambillo y Amaguaña, (Pillajo & Taipe, Áreas delimitadas para el diseño en OpenStreetMaps, 2019)

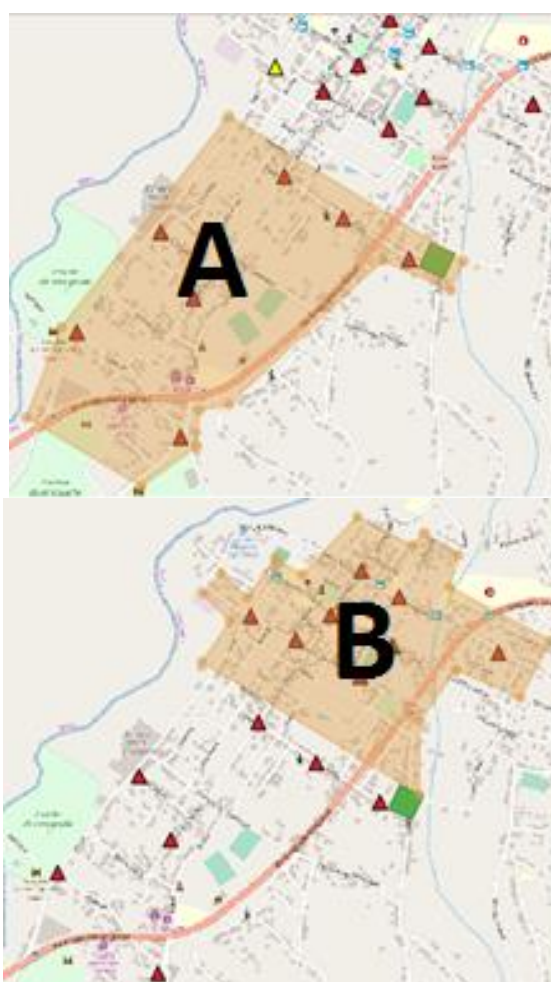
Como se observa en la Figura 3.10, las áreas de color marrón tienen los sectores potenciales donde se encuentran los posibles usuarios que optarán por el servicio, la Figura a) representa a la Parroquia de Amaguaña y b) a Tambillo.

3.5.2. Determinación de áreas para el diseño de la red GPON

Se realiza una sectorización por Zonas debido al número de usuarios presentes en las Parroquias. El sector de Amaguaña se divide en dos Zonas para poder realizar la actualización a la red GPON, teniendo en cuenta el número de abonados actuales en la red de cable coaxial. En consecuencia, a lo mencionado anteriormente, la Zona A se conforma con 371 usuarios, se realiza el diseño obteniendo la mejor ruta posible para llegar a los abonados, considerando el sistema de postería realizado en la red de cable coaxial. La Zona B lo conforman 418 usuarios, en esta Zona se encuentra la mayoría de habitantes de la Parroquia, es la Zona más poblada ya que ésta es una Zona más comercial, donde se encuentra el Parque Central, el Gobierno Parroquial de Amaguaña y de igual manera el Centro de Salud. En la Figura 3.11 se visualiza

las Zonas A y B representadas por polígonos de color anaranjado, estas Zonas corresponden al área de estudio de la Parroquia de Amaguaña.

Figura 3.11 Amaguaña: Zona A y Zona B

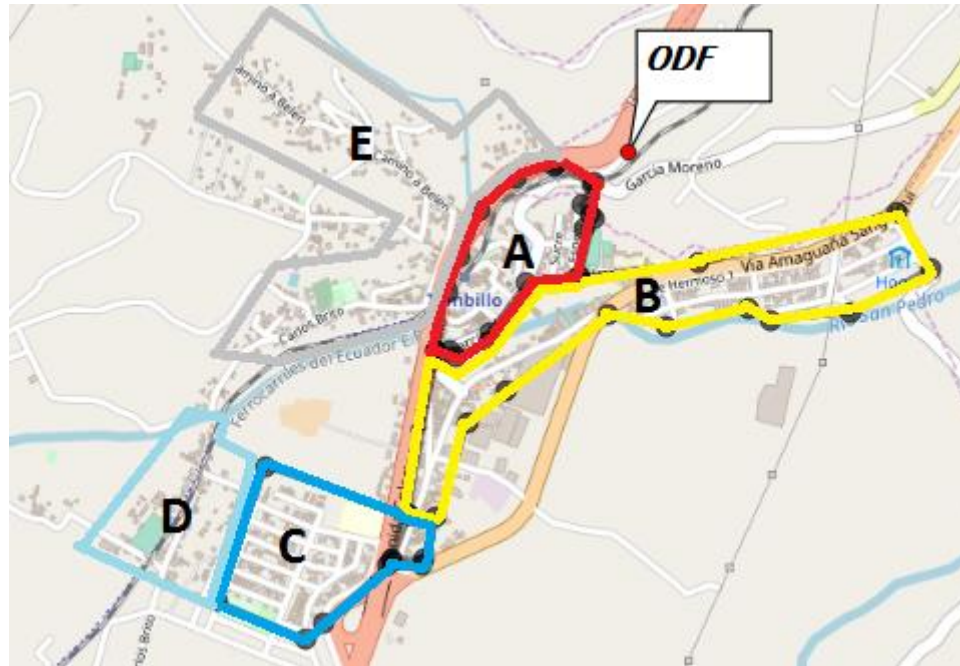


División de Zonas en Amaguaña definidas por el número de usuarios para la facilitación del diseño, (Pillajo & Taipe, Sectorización por zonas en las áreas de Tambillo y Amaguaña, 2019)

En la Parroquia de Tambillo se tiene un total de 1.172 usuarios, por lo tanto, se realiza una sectorización de cinco Zonas para propósitos de diseño. En la Zona A de Tambillo delimitado por la Av. Colectora Quito Tambillo al Este, Calle García Moreno y Calvache al Sur, Calle Espejo al Oeste; contando con un total de 300 usuarios. La mayor parte de estos son hogares y locales comerciales pequeños. La Zona B cuenta con un total de 292 de usuarios la mayor parte son hogares y locales comerciales pequeños; delimitado por las calles Calvache, Vía Amaguaña Sangolquí.

En la Zona C se tiene un total de 268 usuarios principalmente hogares. En la Zona D se tiene 107 usuarios conformado por hogares. En la Zona E se tiene un total de 205 usuarios. La Figura 3.12 contiene cada una de las Zonas representadas por polígonos de diferente color correspondientes al área de Tambillo.

Figura 3.12 Tambillo: Zona A, B, C, D y E



División de Zonas en Tambillo definidas por el número de usuarios para la facilitación del diseño, (Pillajo & Taípe, Sectorización por zonas en las áreas de Tambillo y Amaguaña, 2019)

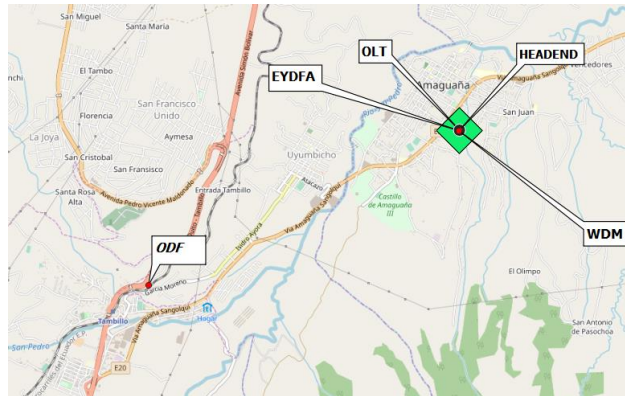
Para el despliegue de la red en el caso de Amaguaña se toma en consideración los abonados existentes en la red actual, adicionalmente se realizan los cálculos para 61 nuevos usuarios que desean disponer de estos servicios en fibra óptica. Por lo tanto, los nuevos usuarios se encuentran en la Zona B, en el caso de Tambillo todos los usuarios son nuevos ya que el objetivo principal de la Empresa es crecer hacia este sector con un total de 1172 abonados adicionales.

3.5.3. Dispositivos activos

Los dispositivos activos se encuentran en el Headend que está ubicado en la calle Pedro Vicente Maldonado y Espejo en la Parroquia de Amaguaña, en las coordenadas $0^{\circ}22'55.863''$ S y $78^{\circ}30'12.424''$ W. Se considera este lugar como la oficina central del diseño donde están las diferentes OLT que contendrán los puertos GPON y a su vez el dispositivo EYDFA, el cual ayudará a realizar el proceso de

multiplexación y así poder transmitir CATV e Internet por cada puerto. A partir de aquí se presentan únicamente dispositivos pasivos hasta llegar a los abonados donde encontramos las ONTs. La Figura 3.13 muestra en el cuadrado verde la ubicación del Headend en la Parroquia de Amaguaña.

Figura 3.13 Dispositivos activos de la red

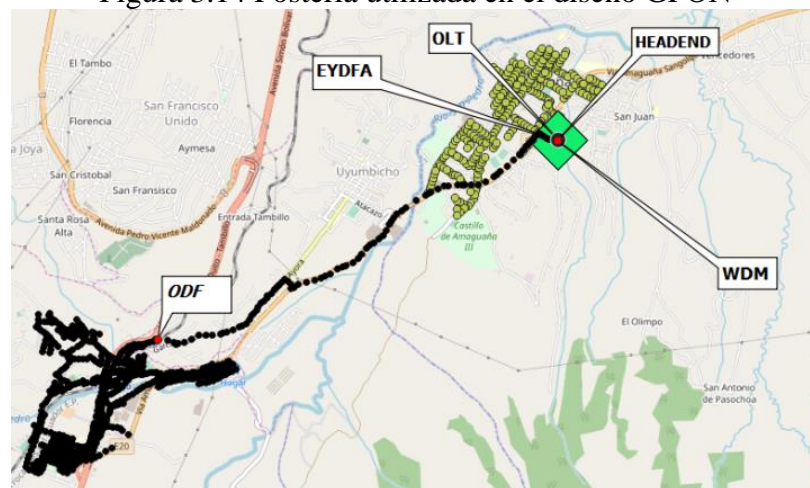


Ubicación de los dispositivos activos de la red en QGIS, la mayoría se encuentra en el Headend, (Pillajo & Taipe , Ubicación de los elementos de la red diseñada en QGIS , 2019)

3.5.4. Postería Utilizada

Para la ubicación de los postes se utiliza la base de datos de georreferenciación de la Empresa Eléctrica de Quito y se selecciona del total de postes instalados solo los utilizados. En Tambillo se utiliza alrededor de 669 postes (puntos negros, como se muestra en la Figura 3.14), y en Amaguaña se utiliza 332 postes (puntos verdes, como se observa en la Figura 3.14); teniendo un total de 1001 postes para cubrir las dos Parroquias.

Figura 3.14 Postería utilizada en el diseño GPON



Ubicación de la postería a utilizar en el diseño de la red en QGIS, (Pillajo & Taipe , Ubicación de los elementos de la red diseñada en QGIS , 2019)

3.5.5. Enlace troncal

En el caso del enlace troncal se tiene diferentes enlaces para cada una de las Parroquias, para Amaguaña se utiliza el mismo recorrido que posee la red actual ya que se usa los mismos postes para llegar a los clientes. En el caso de Tambillo se utiliza la herramienta de Google Maps para encontrar la ruta más corta y así poder realizar el recorrido más adecuado para ingresar al sector. A continuación, se presenta un esquema del recorrido realizado que está representado con la línea de color azul en la Figura 3.15, para la red troncal desplegada en la Parroquia de Amaguaña se visualiza en la Figura 3.15a mientras que para la Parroquia de Tambillo en la Figura 3.15b.

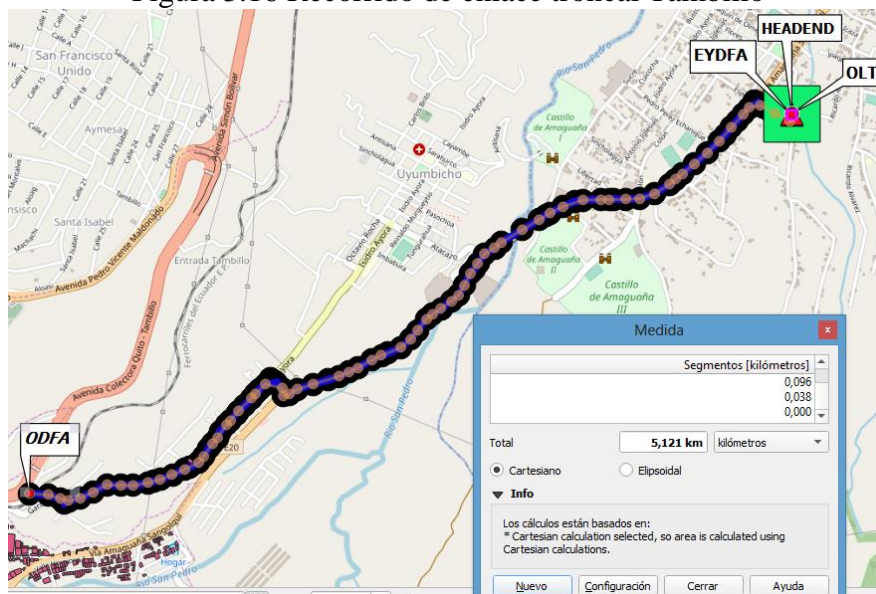
Figura 3.15 Recorrido de la red troncal de la red



Ubicación y recorrido de la red troncal tanto en Tambillo como en Amaguaña en QGIS, (Pillajo & Taipe , Ubicación de los elementos de la red diseñada en QGIS , 2019)

Con la herramienta QGIS a través de una funcionalidad de regla guiada por puntos referenciales se calcula el recorrido del enlace troncal total hacia Tambillo, se utiliza como puntos referenciales los postes existentes en la Zona, teniendo como resultado una distancia de 5.121Km hasta el Distribuidor de fibra óptica (ODF) donde todos los hilos de fibra desde la oficina central se organizan y se empieza la distribución hacia el primer splitteo a través de los postes (puntos rojos). La Figura 3.16 indica el recorrido y la distancia total que tiene la red troncal (línea negra) hacia Tambillo partiendo desde el Headend (cuadro verde).

Figura 3.16 Recorrido de enlace troncal Tambillo



Recorrido de la red troncal más extensa del diseño, esta se encuentra en el recorrido desde el Headend hasta el ODF ubicado en Tambillo, (Pillajo & Taipe , Ubicación de los elementos de la red diseñada en QGIS , 2019)

3.5.6. Cálculo de las tarjetas GPON

En las dos Parroquias se tiene un total de 7 Zonas, estas tienen un número de usuarios específicos y conociendo el nivel de splitteo máximo por puerto, se realiza el cálculo de los puertos OLT necesarios para cubrir la demanda de los usuarios residenciales totales. En la Tabla 3.5 se realiza el cálculo de los puertos OLT por Parroquia, Zona y el número de usuarios que se tiene en cada una.

Tabla 3.5 Número de puertos OLT para cubrir la demanda

Parroquia	Zona	Usuarios	Nivel <u>Splitteo</u> Max.	Puertos OLT necesarios para cubrir la demanda
<u>Amaguaña</u>	A	371	64	$\frac{371}{64} = 6$
	B	418	64	$\frac{418}{64} = 7$
Tambillo	A	300	64	$\frac{300}{64} = 5$
	B	292	64	$\frac{292}{64} = 5$
	C	268	64	$\frac{268}{64} = 5$
	D	107	64	$\frac{107}{64} = 2$
	E	205	64	$\frac{205}{64} = 4$
Total				34

Cálculo total de puertos OLT necesarios para cada Zona en cada Parroquia del diseño GPON.

Elaborado por: William Pillajo & Jonathan Taipe

Con un total de 34 puertos OLT, se necesita un equipo que pueda cubrir toda esta demanda, de igual manera al hacer la selección del equipo se debe tener en cuenta su escalabilidad para futuros usuarios que deseen los servicios que se ofertan.

3.5.7. Selección de fibra óptica

Para la selección de la fibra óptica en cada una de las fases de la red se considera las normas ITU de las series G.652, G.655 y G.657. Para la red de distribución y de Feeder se puede utilizar fibra óptica G.652 y G.655, ya que son las fibras que cumplen con los requerimientos para la red troncal o de distribución como la velocidad de transmisión y las longitudes de onda con las que trabaja. La G.655 se la utiliza en casos donde se requiera una gran transmisión de datos a grandes distancias, trabaja en longitudes de 1530 a 1565 nm, cuenta con una baja dispersión cromática reduciendo las pérdidas en la transmisión de los datos y además alcanza grandes velocidades como son: 2.5, 10, 40 y hasta 160 Gbps. La G.655 presenta mayores

ventajas que la G652 por lo tanto su costo es muy elevado. Por otro lado, la G652 es ideal para trabajar en enlaces que transmiten en longitudes de onda de 1310 y 1550 nm, no alcanza grandes distancias se utiliza en redes de acceso que no posean distancias muy extensas.

En el diseño presentado, la red Feeder posee una extensión de 5.121 Km por lo tanto evaluando la demanda y los costos, se propone la utilización de la fibra óptica G.652. Esta fibra tiene una clasificación de la cual se elige la G.652D ya que es la más utilizada en tendidos de fibra y por su característica de fabricación en un proceso Zero Water Peak (Pico de agua cero, ZWP) que permite trabajar en un rango mayor de longitudes de onda. Existen otras categorías bajo el mismo proceso de fabricación como es la G.653C, pero las velocidades de transmisión son menores a la G.652D. Una característica adicional de la G.652D es que en la longitud de onda de 1310 a 1625 posee un bajo nivel de coeficiente de atenuación (0.3 dB/Km). Por estas razones se elige la fibra óptica G.652D tanto para la red Feeder como para la red de distribución.

Para la red de dispersión en la mayoría de redes GPON se utiliza la fibra óptica G657, esta fibra es muy útil en interiores de edificios residenciales y hogares, ya que posee una característica de radio de curvatura muy bajo. Esta fibra G.657 existe de dos tipos, la fibra G.657A y G.657B, el factor que diferencia a estas dos fibras es el coeficiente de atenuación en los rangos de longitud de onda de 1310 a 1625 nm, teniendo un valor menor en la G.657A. Adicional la fibra G.657A es compatible con la fibra óptica G652. Por estas razones se recomienda la utilización de la fibra G.657A para la red de dispersión. La fibra óptica G.657A se subdivide en dos categorías, la G.657A1 y la G.657A2, donde la característica principal que las diferencia es el radio de curvatura de 10 mm y 7.5 mm respectivamente. En este caso evaluando los costos se recomienda utilizar la fibra óptica G.657A1, teniendo en cuenta la limitación en la instalación del usuario final ya mencionada.

A continuación, en la Tabla 3.6 se resume la selección de tipo de fibra óptica para la red GPON.

Tabla 3.6 Fibra óptica recomendada para la Red GPON

Red GPON	Fibra óptica
Red Feeder	G.652D
Red Distribución	G.652D
Red Dispersión	G.657A1

Resumen de la elección de fibras ópticas utilizadas en cada etapa de la red. Elaborado por: William Pillajo & Jonathan Taipe

Para validar que la velocidad de transmisión Downstream del estándar GPON que es soportada por la fibra óptica G.652D, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{Dc \times \Delta\lambda \times L} \geq Vd \quad \text{Ec. (3.1)}$$

En donde:

Dc: Dispersión cromática.

$\Delta\lambda$: Ancho de Espectro.

L: Longitud máxima de la fibra óptica.

Vd: Velocidad de transmisión del estándar GPON (Downstream).

Entonces:

$$Dc = 18 \frac{ps}{Km \times nm} \text{ (Arévalo, 2018)}$$

$\Delta\lambda$: 1 nm (Arévalo, 2018)

L: 20 Km según la Tabla 3.3

Vd: 2.5 según la Tabla 3.3.

Por lo tanto:

$$\frac{1}{18 \frac{ps}{Km \times nm} \times 1 nm \times 20 Km} \geq 2.5 Gbps$$

$$2.78 Gbps \geq 2.5 Gbps$$

Se puede confirmar que la fibra óptica G.652D posee una velocidad de transmisión de 2.78 Gbps, esta es mayor que la del estándar GPON, por lo tanto, la fibra óptica seleccionada si soporta la velocidad del estándar en Downstream.

Al igual que la velocidad Downstream se necesita verificar que la velocidad de transmisión del estándar GPON Upstream que es soportada y se utiliza la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{Dc \times \Delta \lambda \times L} \geq Vd \quad \text{Ec. (3.2)}$$

En donde:

Dc: Dispersión cromática.

$\Delta \lambda$: Ancho de Espectro.

L: Longitud máxima de la fibra óptica.

Vd: Velocidad de transmisión del estándar GPON (Upstream).

Entonces:

$$Dc = 3.5 \frac{ps}{Km \times nm} \text{ (Arévalo, 2018)}$$

$\Delta \lambda$: 1 nm (Arévalo, 2018)

L: 20 Km según la Tabla 3.3

Vd: 1.2 según la Tabla 3.3.

Por lo tanto:

$$\frac{1}{3.5 \frac{ps}{Km \times nm} \times 1 nm \times 20 Km} \geq 1.2 Gbps$$

$$14.29 Gbps \geq 1.2 Gbps$$

Como resultado se obtuvo la velocidad de transmisión Upstream de la fibra óptica G.652D (14.29 Gbps), esta es mayor que la velocidad del estándar GPON (1.2 Gbps), afirmando que la fibra óptica recomendada si soporta el estándar GPON.

3.5.8. Selección de tendido de la fibra óptica

Existen dos tipos de tendido de cable para fibra óptica que son: tendido canalizado aéreo y tendido canalizado subterráneo. En este caso por el tema de costos se recomienda utilizar el tendido de cable canalizado aéreo. Se emplea el cable aéreo óptico G.652D de 144 hilos en la red Feeder, para la red de distribución se recomienda usar cable aéreo óptico de 48,24 o 6 hilos y para la red de dispersión el cable aéreo de 2 hilos G.657A1. A continuación, se puede observar en la Tabla 3.7 las recomendaciones de los cables para cada una de las etapas del diseño.

Tabla 3.7 Tipo de cable recomendado para la red GPON

Red GPON	Fibra óptica
Red Feeder	Cable aéreo ADSS de 144 hilos monomodo G.652D
Red Distribución	Cable aéreo ADSS de 24 y 6 hilos monomodo G.652D
Red Dispersión	Cable aéreo ADSS de 2 hilos G.657A1 (Drop)

Resumen del tipo de cable que se recomienda para la implementación del diseño de la red GPON.

Elaborado por: William Pillajo & Jonathan Taipe

Teniendo en cuenta las normativas de diseño de una red GPON (Prieto, 2013) (Hillar, 2014) se usa el cable de fibra óptica aéreo ADSS ya que este puede soportar grandes cantidades de hilos de fibra óptica, adicional posee un recubrimiento que ayuda frente a las condiciones naturales que se encuentra sometido el cable. Este tipo de cables se caracterizan por tener un elemento de tracción, formado por un material de acero que ayuda a soportar el tendido de la fibra óptica a través de los postes, asegurando la integridad de los hilos de fibra.

Para la red Feeder se utiliza un cable de 144 o 288 hilos, sin embargo, se ha elegido el de 144 hilos ya que en el diseño se tiene un máximo de 34 puertos, por lo tanto, solo se usan 34 hilos y los demás quedarían disponibles para futuros proyectos en los

sectores aledaños, de esta manera no se tendría un desperdicio de recursos y se asegura la escalabilidad de la red.

Para la red de distribución se puede usar hilos de 96, 72, 48, 24, 12 y 6. En el diseño realizado para el primer nivel de splitteo se utiliza un cable de 6 hilos y un cable de 24 hilos, para el segundo nivel de splitteo hasta las cajas de dispersión ya que con estos cables se cubre toda la demanda del diseño.

En la red de dispersión se usa un cable Drop de 2 hilos para ingresar a cada una de las cajas multimedia y realizar la función con el patchcord tipo pigtail hacia el equipo ONT. Existen cables aéreos de 4 hilos para ser implementados en la red de dispersión, si estos son usados representarían un desperdicio de recursos y un costo adicional haciendo que la inversión para la Empresa crezca ya que el despliegue es a un nivel masivo, mientras que el cable Drop recomendado es muy útil al momento de ingresar a los domicilios por su fácil manipulación en comparación a los cables de fibra canalizados.

3.5.9. Selección de la OLT

La Empresa, actualmente, no posee una OLT, ya que se maneja el servicio CATV mediante red coaxial. Por esta razón se hace un análisis de diferentes modelos de OLT para elegir la mejor opción que cubra los requerimientos que se necesita en el diseño de la red GPON. En la Tabla 3.8 se muestra las características de los equipos CDATEA, HUAWEI y V-SOL.

Con respecto al equipo CDATEA, este tiene los requerimientos necesarios de la red a diseñar sin embargo su costo es muy elevado en comparación a los otros equipos. Para el equipo V-SOL en relación a sus aspectos técnicos no se permite tener una configuración de redundancia de energía, la cual pondría en riesgo el continuo funcionamiento de la red. El equipo HUAWEI es un chasis en el cual se puede incorporar 8 módulos de 8 puertos GPON cada uno, donde el chasis viene incorporado un módulo de 8 puertos GPON, por lo tanto, ya que se debe cubrir los requerimientos de la red se necesitará comprar más módulos y no adquirir un nuevo chasis, como consecuencia el precio de la adquisición se reduce. Teniendo en cuenta todos estos aspectos la mejor opción es el equipo HUAWEI en comparación a costos

y a la redundancia de alimentación que este brinda, al igual de la incorporación de nuevos puertos GPON sin la necesidad de adquirir un nuevo chasis.

Tabla 3.8 Tabla comparativa de modelos OLT

Características	V-SOL V1600G2	HUAWEI MA5680T	CDATA FD1616GS
Estándar	ITU-T G.984/ G988	ITU-T G.984/ G988	ITU-T G.984/ G988
Puerto GPON	16 ranuras SFP	8 ranuras SFP	16 ranuras SFP
División máxima GPON	1:128	1:128	1:128
Fuente de alimentación	220VAC / -48 VDC	-48 V DC de entrada Admite protección de doble potencia	220VAC/-48VDC, admite redundancia de energía dual
Distancia de transmisión	20 km	20 km	20 km
Velocidad de puerto GPON	Upstream: 1,24Gbps Downstream: 2,48Gbps	Upstream: 1,24Gbps Downstream: 2,49Gbps	Upstream: 1,25Gbps Downstream: 2,5Gbps
Sensibilidad Rx	-28dBm	-28dBm	-28dBm
Costo	\$1.187,00	\$1.300,00	\$2.450,00

Comparación de características técnicas y precios entre diferentes modelos de OLT. Elaborado por:
William Pillajo & Jonathan Taipe

El diseño propuesto requiere de 34 puertos GPON, por lo tanto, se deberá adquirir 1 chasis HUAWEI y 4 módulos con 8 puertos GPON adicionales, de esta manera se satisface los requerimientos de la red. Considerando la escalabilidad, se tendrá la disponibilidad de 6 puertos GPON libres para futuras instalaciones de nuevos abonados.

3.5.10. Selección de la ONT

El usuario debe disponer de un equipo terminal que contenga una salida coaxial para la conexión CATV, de modo que se realiza una comparación con diferentes equipos para elegir el equipo que cumpla con todos los requerimientos de la red diseñada.

Para determinar la ONT adecuada se compara los siguientes equipos: HUAWEI, V-SOL y CDATE, sus características se muestran en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Tabla comparativa de modelos ONT

Características	V-SOL V2804RGWT	HUAWEI HG8247H	CDATA FD600-704
Puerto PON	1 puerto GPON	1 puerto GPON	1 puerto GPON
Puerto Ethernet	4 puertos LAN	4 puertos LAN	4 puertos LAN
Interfaz CATV	1 salida RF	1 salida RF	1 salida RF
Inalámbrico	IEEE802.11b/g/n 300 Mbps	IEEE802.11b/g/n 300 Mbps	IEEE802.11b/g/n 300 Mbps
Sensibilidad Rx	-27dBm	-27dBm	-28dBm
Costo	\$45,60	\$44,00	\$45,00

Comparación de características técnicas y precios entre diferentes modelos de ONT. Elaborado por:
William Pillajo & Jonathan Taipe

Como se observa en la Tabla 3.9, estos equipos tienen sus características similares como el número de puertos PON, Ethernet, la interfaz CATV y los estándares para la señal inalámbrica, la diferencia entre ellos son los precios y la sensibilidad de recepción que estos tienen. Cabe recalcar que el equipo Huawei consta con dos puertos POTS para servicio telefónico. Teniendo en cuenta los servicios que prestará la Empresa, el equipo Huawei dispone con características que no se usarán, en consecuencia, queda descartado, para los equipos CDATE y V-SOL la diferencia más representativa es el precio que estos tienen, el costo entre estos equipos no es tan excesivo, pero al adquirirlo de forma masiva esta diferencia representa un gran valor monetario. Para reducir costos y cumplir con las características que necesita el equipo del usuario final, se recomienda elegir el equipo CDATE.

3.6. Diseño de la ODN

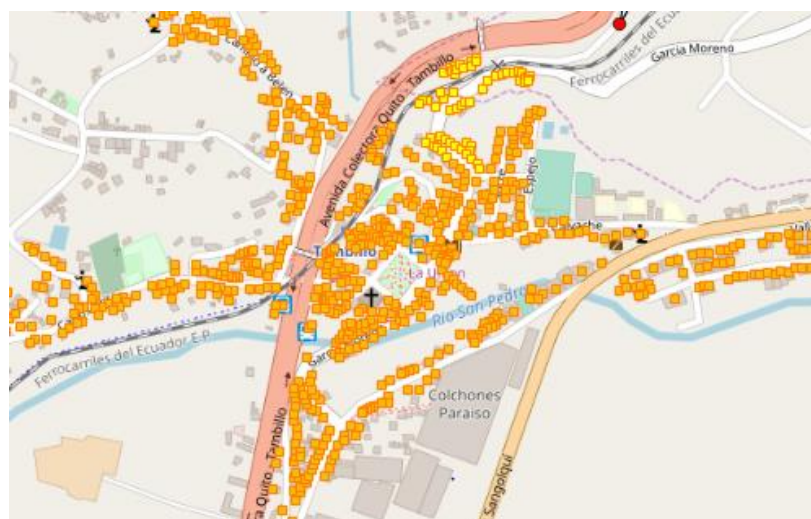
El plano de la Zona de Amaguaña y Tambillo fue obtenido del software en línea open source OpenStreetMaps, para la georreferenciación de postería en el sector de Amaguaña se utilizó la postería existente en la red. Para el sector de Tambillo se realiza una nueva postería teniendo como base las estructuras instaladas actualmente

Una vez que se tiene el plano georreferenciado con los postes y determinada la cantidad de usuarios por cada una de las Zonas existentes, se procede a realizar el diseño de toda la red óptica de dispersión, distribución y Feeder. Primero se realizará la ubicación de cada uno de los splitters, posteriormente se detallará cada una de las etapas de la red óptica pasiva.

Anteriormente se realizó una sectorización de las Zonas por número de usuarios la cual va a servir para poder contabilizar el número de splitters 1:4 y de splitter 1:16 para la distribución hacia cada una de las Zonas, se utiliza para el primer nivel de splitteo un cable de fibra óptica de 6 hilos y para el segundo nivel de splitteo un cable de fibra óptica de 24 hilos. Como se conoce la tecnología GPON permite un splitteo de 1:64 por cada puerto OLT, basado en esto se realiza la ubicación de los elementos con una topología en forma de árbol, colocando como nivel jerárquico superior al elemento de primer nivel de splitteo y posterior a este los elementos de segundo nivel de splitteo como se muestra en la Figura 3.17, siendo el elemento splitter de 1:4 representado por un símbolo de color rojo y los elementos de 1:16 se encuentran representados por un símbolo de color azul.

35

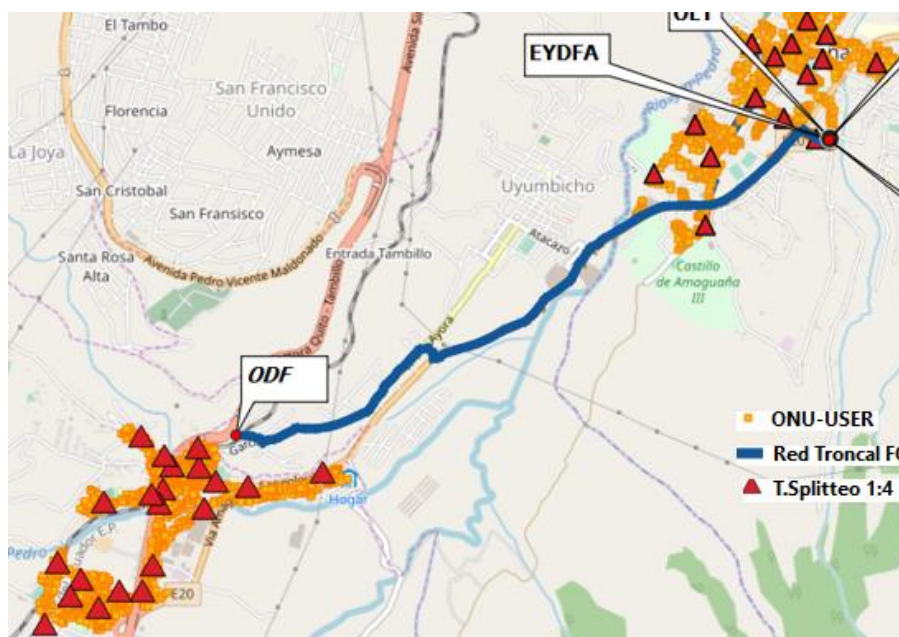
Figura 3.19 Grupo de 64 usuarios Sector Tambillo Zona A



La etiquetación de usuarios está representada con un color más claro en el centro del círculo amarillo, (Pillajo & Taipe , Ubicación de los elementos de la red diseñada en QGIS , 2019)

El mismo procedimiento se realiza para cada una de las Zonas, es decir por cada 64 usuarios se ubica un splitter de 1:4 y se tendría la siguiente distribución, como se observa en la Figura 3.20 cada splitter 1:4 representado por triángulos rojos, se encuentra ubicado para 64 usuarios.

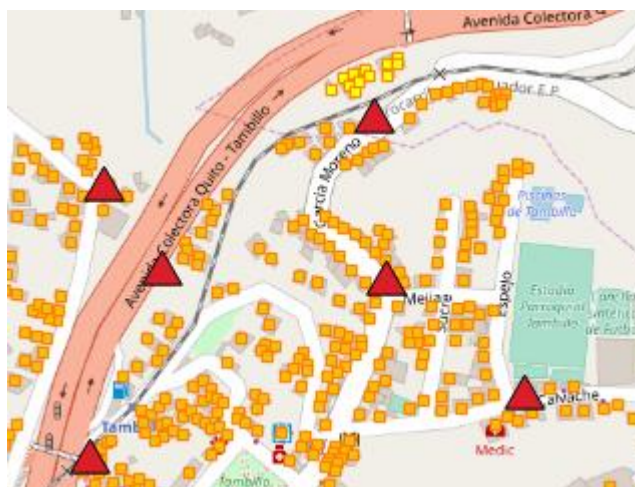
Figura 3.20 Distribución de splitter 1:4



Ubicación de los splitters de primer nivel en relación a los usuarios etiquetados, son representados con triángulos de color rojo, (Pillajo & Taipe , Ubicación de los elementos de la red diseñada en QGIS , 2019)

Una vez definido la distribución del primer nivel de splitteo se realiza el siguiente procedimiento, se divide por cada 64 usuarios en 4 grupos de 16 según el caso ya que no en todos los grupos se obtiene esa cantidad, pero se definió como valor máximo de 64 usuarios por nivel máximo de splitteo que permite GPON, como se puede observar en la Figura 3.21 se tiene el primer grupo, en este caso de 12 usuarios. Para la división de los grupos también se tiene en cuenta las distancias entre cada una de ellas ya que así se permite obtener la distribución del siguiente nivel de splitteo.

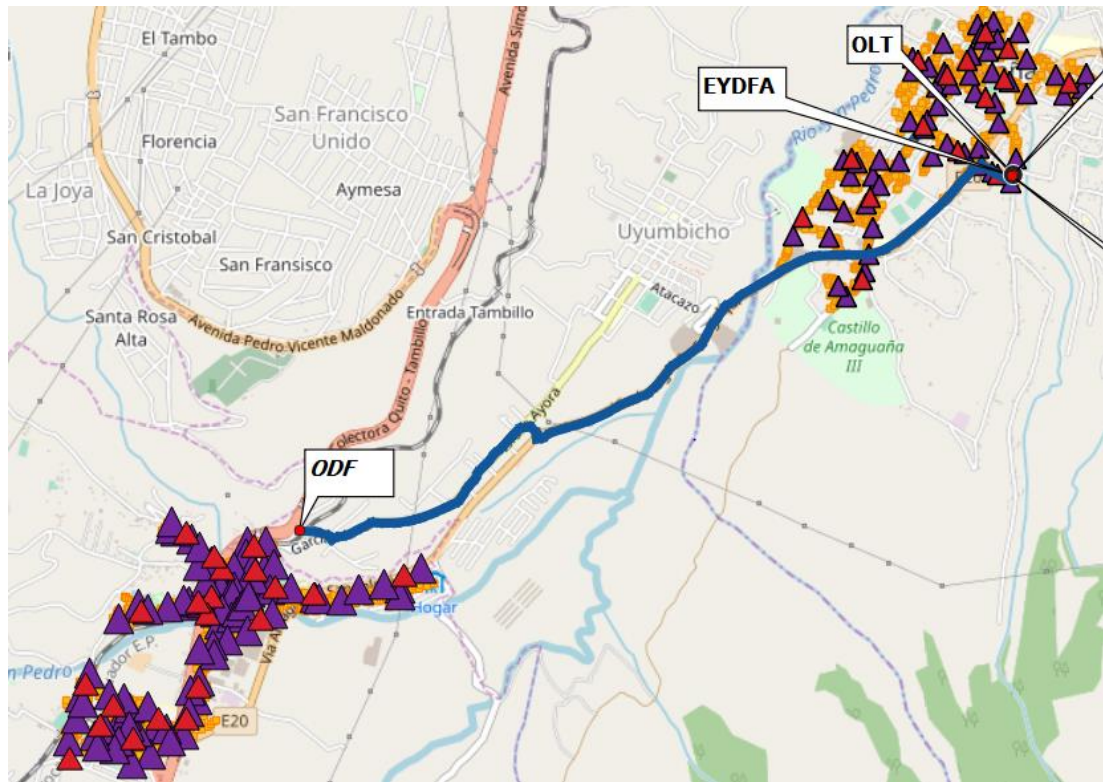
Figura 3.21 División de grupos de usuarios segundo splitteo



Agrupación de usuarios para la ubicación de un splitter de segundo nivel, este grupo de usuarios están indicados con un color más claro en su Figura, (Pillajo & Taipe , Ubicación de los elementos de la red diseñada en QGIS , 2019)

Tomando como ejemplo la Zona A de Tambillo como se observa en la Figura 3.21, tenemos el primer grupo de usuarios, el cual va a servir para identificar la ubicación más estratégica de los splitters 1:16 y poder cubrir la mayor parte de usuarios con el menor consumo de recursos. Este procedimiento se realizó por cada uno de los grupos de 64 tanto para las Parroquias de Tambillo y de Amaguaña, así se logra tener la diferente distribución en el segundo nivel de splitteo. En la Figura 3.22 se observa la distribución de splitters 1:16 (triángulos azules) en ambas Parroquias, conjuntamente con el primer nivel de splitteo.

Figura 3.22 Distribución de splitters 1:16



Ubicación estratégica de los splitters de segundo nivel en las Parroquias de Tambillo y Amaguaña, (Pillajo & Taipe , Ubicación de los elementos de la red diseñada en QGIS , 2019)

Esta es la metodología que se manejó para todo el diseño de la red, se centraliza cada uno de los elementos 1:4 posterior se distribuye el cable de fibra óptica de 8 hilos hacia los elementos 1:16, aquí se distribuye el cable de fibra óptica de 16 hilos y así asegurar la disponibilidad de los 64 usuarios finales. Finalmente se realiza el cálculo para la Zona A de Amaguaña que cuenta con 371 usuarios. Para lo cual se necesitan 6 splitters de 1:4, donde este valor se obtiene al dividir la cantidad de usuarios para 64, para la cantidad de splitters de 1:16 se multiplica por 4 a la cantidad de splitters de 1:4, dando como resultado un valor de 24. Este procedimiento se repite para cada una de las Zonas de los dos sectores y se obtiene la Tabla 3.10 donde se indica el número de splitters utilizados en las diferentes Zonas de cada Parroquia.

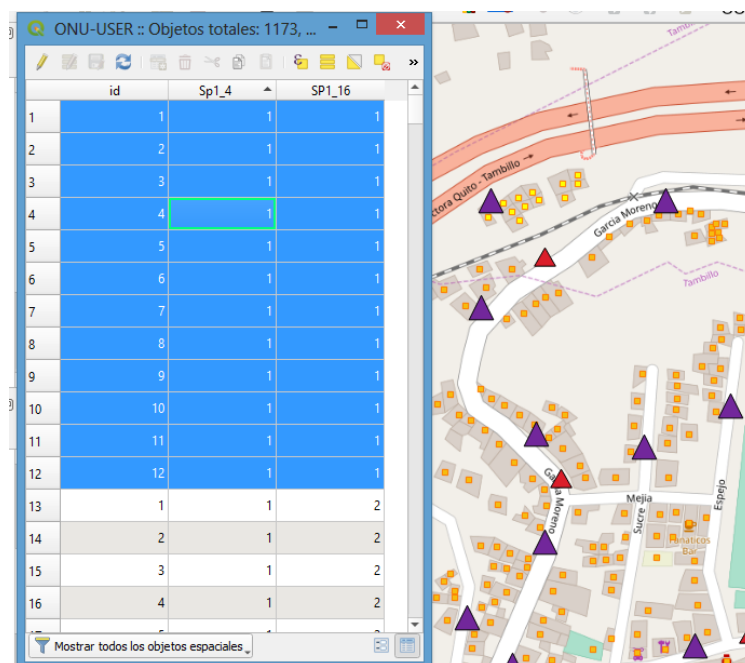
Tabla 3.10 Número de splitter por Zonas

Parroquia	Zona	Usuarios	Splitter 1:4	Splitter 1:16
Amaguaña	A	371	6	24
	B	418	7	28
Tambillo	A	300	5	20
	B	292	5	20
	C	268	5	20
	D	107	2	8
	E	205	4	16
Total			34	136

Resumen de la utilización de splitters en cada Zona del diseño. Elaborado por: William Pillajo & Jonathan Taipe

Adicional se genera una base de datos en el software QGIS donde se tiene etiquetado cada uno de los usuarios y a su vez indica a que splitter de 1:4 y de 1:16 pertenece, esto con la finalidad de facilitar el diseño al momento de implementarlo como se observa en la Figura 3.23, la base de datos está tomada con los usuarios pertenecientes a un splitter 1:16.

Figura 3.23 Base de datos de usuarios y niveles de splitteo



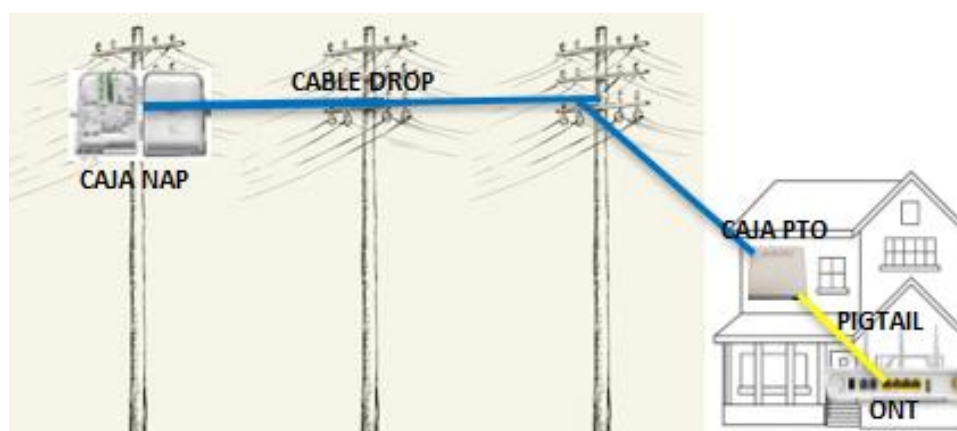
Base de datos contenida con los usuarios y los splitters a los cuales pertenecen, (Pillajo & Taipe , Ubicación de los elementos de la red diseñada en QGIS , 2019)

En la Figura 3.23 se toma en cuenta la Zona A de Tambillo. Esta indica que en el primer splitter 1:16 perteneciente al splitter 1:4 etiquetado como 1, se tiene ocupado 12 hilos de fibra y disponibles 4. Con esta herramienta se puede ir visualizando el número de usuarios por cada nivel de splitteo y así facilitar la implementación del diseño.

3.6.2. Red de dispersión

En esta etapa de la red se considera a toda el área que abarca el elemento pasivo del segundo nivel de splitteo, dicho de otra forma, se refiere a los usuarios finales o abonados que son cubiertos por cada splitter 1:16 o caja de dispersión Network Access Point (Punto de Acceso a la Red, NAP). Como nivel máximo se tiene 16 abonados por cada Zona de influencia. A partir de esta área se utiliza cable Drop el cual se considera como distancia máxima de 250 m desde el elemento pasivo hasta el dispositivo ONT según la normativa de la Empresa. Para llegar a este estándar se tomó en cuenta la distancia desde la caja de dispersión hasta el ONT más lejano. El procedimiento para levantar la red de dispersión en cada una de las Zonas es el siguiente: el cable parte desde la caja NAP a través de los postes como primer punto hasta la caja multimedia (PTO). Como segundo punto se realiza la fusión dentro de la PTO con el cable final de fibra óptica pigtail. Finalmente, con el patchcord se conecta al dispositivo ONT. A continuación en la Figura 3.24 se observa un esquema de la red de dispersión con la caja NAP, cable Drop, caja PTO, pigtail y ONT.

Figura 3.24 Esquema de Red de dispersión



Esquema del recorrido en la etapa de dispersión, (Pillajo & Taipe, Esquema de red de dispersión, 2019)

Anteriormente se realizó la distribución de cada una de las cajas de dispersión finales y se toma como ejemplo la Zona A de Tambillo para mostrar el diseño de la red de dispersión.

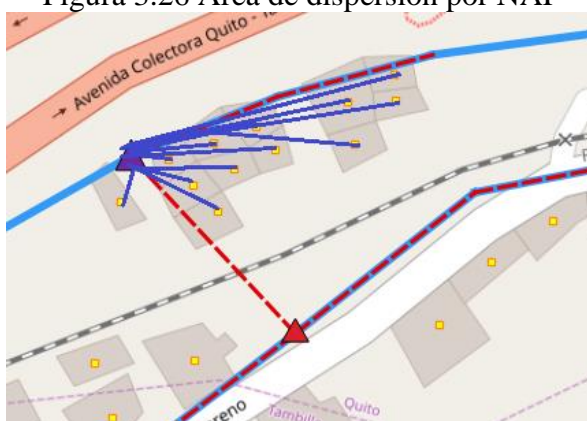
Figura 3.25 Splitter 1:4 con cajas NAP



Splitter 1:4 1_1 Tambillo Zona A, (Pillajo & Taípe , Ubicación de los elementos de la red diseñada en QGIS , 2019)

Como se puede observar en la Figura 3.25 cada uno de las NAPs tienen su área de dispersión de máximo 16 abonados, por lo tanto, una vez identificado esto se procede a realizar la dispersión o la distribución desde las cajas 1:16 hacia sus abonados. Se tomará como ejemplo una caja NAP para ejemplificar el procedimiento que se va seguir en el área de influencia por cada una de las cajas de dispersión como se muestra en la Figura 3.26.

Figura 3.26 Área de dispersión por NAP



Dispersión a los abonados en una Zona seleccionada, (Pillajo & Taípe , Ubicación de los elementos de la red diseñada en QGIS , 2019)

Esta parte del diseño solo se muestra como ejemplo en la Zona A de Tambillo, no se encuentra representado en el diseño propuesto en el software QGIS, debido que al

seguir las normativas de ARCOTEL de georreferenciación solo se grafica hasta la red de distribución. Una de las formas para guiar estas conexiones es la base de datos de QGIS donde se encuentra etiquetado cada abonado, de esta manera indicando a que caja de dispersión y que splitter de 1:4 pertenece cada uno.

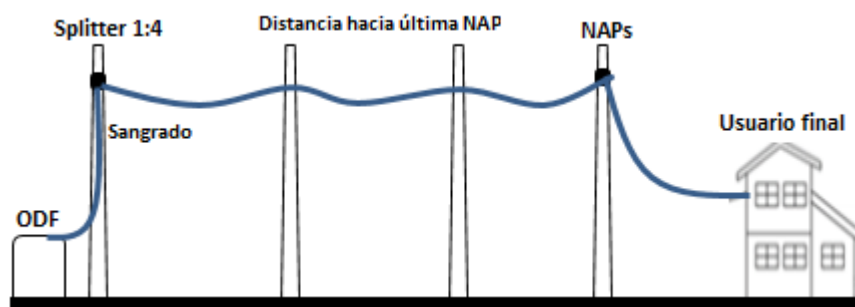
3.6.3. Red de distribución

La red de distribución en el diseño propuesto se encuentra comprendida desde el ODF hasta el primer nivel de splitteo dicho de otra manera la red de distribución se refiere a las mangas de fusión donde se encuentran ubicados los divisores ópticos de 1:4 y hasta las cajas de dispersión NAPs donde se encuentran los divisores ópticos de 1:16. Para la red de distribución se va a utilizar el cable aéreo ADSS G.652D de 6 y 24 hilos respectivamente como se hizo el análisis en la sección 3.5.7 la cual cumple las condiciones de diseño planteadas desde un principio.

Para obtener la longitud final que recorre el cable de distribución se debe tener en cuenta la Normativa Técnica de ARCOTEL para la subida al poste, que al ser una Empresa nueva es un valor de 5.30 m desde el nivel del suelo, el cable adicional de fibra óptica para realizar el despliegue en una NAP es un valor de 7 m y adicional el valor de toda la distancia que recorra hasta llegar a la última caja NAP aérea. Basándonos en la normativa de diseño de otros proveedores de internet se recomienda a la Empresa que cada un recorrido de 500 m se deje disponible 30 m adicionales de fibra óptica esto con el fin de prevenir cualquier evento inesperado como es la reubicación de postes o daños del tendido de la fibra óptica. De tal manera los metros adicionales son utilizados para realizar empalmes o cubrir las nuevas ubicaciones de los postes.

En la Figura 3.27 se muestra un esquema de la trayectoria que realizará el cable óptico de distribución hasta llegar a la última caja de dispersión partiendo del ODF y el splitter 1:4.

Figura 3.27 Distancia recorrida del cable óptico de distribución

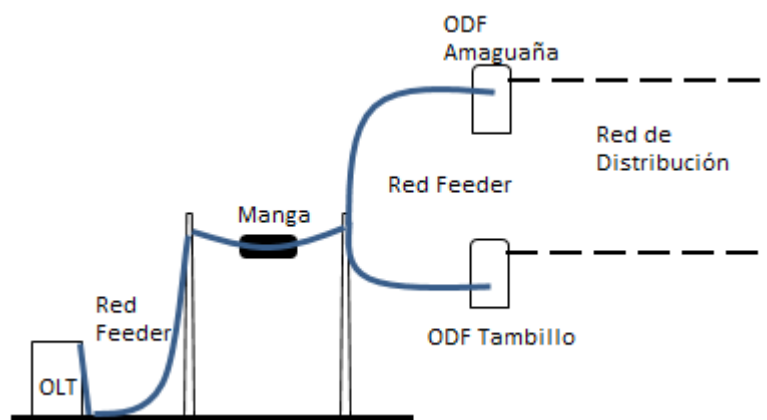


Esquema del recorrido de la red de distribución, (Pillajo & Taipe, Distancia de recorrido del cable óptico de distribución , 2019)

3.6.4. Red Feeder

La red Feeder comprende el cable óptico de 144 hilos G.652D que recorrerá desde la OLT hacia los ODF. El tendido del cable de red de Feeder depende de la disponibilidad de canales subterráneos de la infraestructura caso contrario se recomienda a la Empresa realizar el tendido aéreo con cable ADSS. Teniendo en cuenta las normativas de otros proveedores se recomienda en la red que cada 200m de recorrido se deje como cable óptico adicional 20 m para el sangrado si es tendido aéreo y si es canalizado hay que dejar 15 m adicionales para empalmes. A continuación, se muestra la Figura 3.28 con un esquema de la red Feeder con cada uno de los elementos (OLT, manga y ODF) que la conforman, al igual que las conexiones que estas tendrían entre sí.

Figura 3.28 Esquema Red Feeder

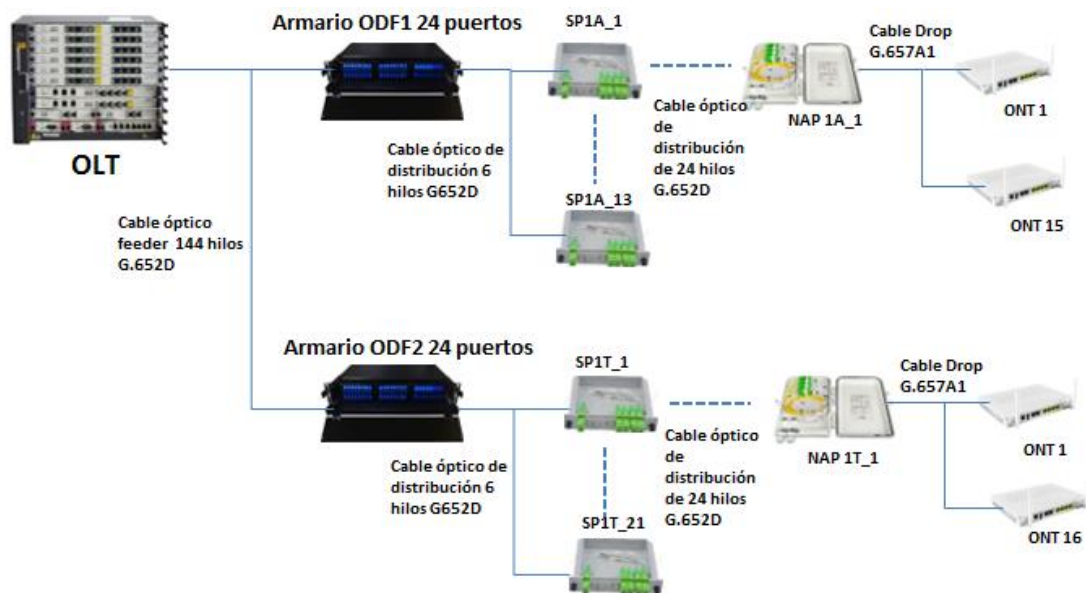


Esquema del recorrido de la red Feeder (Pillajo & Taipe, Esquema de la red Feeder, 2019)

3.6.5. Esquema de la red GPON

La vista general del proceso del diseño propuesto de la red GPON se la observa en la Figura 3.29. Inicia desde la OLT el cable de fibra óptica G.652D ADSS de 144 hilos monomodo a través de los postes hasta una manga aérea, en donde se realiza el sangrado de fibra óptica para llegar a los armarios ODF (Amaguaña y Tambillo) con esto se ocupa 36 hilos y los demás quedarían disponibles para escalabilidad a diferentes proyectos de barrios aledaños. Una vez realizado el sangrado el cable de fibra óptica ADSS G.652D de 6 hilos sale desde los armarios ODFs hasta llegar a los postes donde se encuentran ubicados los splitter 1:4, una vez ubicados en este elemento pasivo se realiza un sangrado de donde sale el cable de fibra óptica ADSS G.652D de 24 hilos hasta cada uno de las NAPs (splitter 1:16). Finalmente, desde las cajas NAP sale el cable de fibra óptica Drop G.657A1 de dos hilos hasta cada uno de los elementos de usuario final conocido como ONT.

Figura 3.29 Esquema de diseño de la Red GPON



Esquema de la red GPON diseñada, (Pillajo & Taipe , Esquema resultante de la Red GPON diseñada, 2019)

3.7. Tendido de cable óptico

En el tendido de cable óptico se toma en consideración la Norma Técnica con resolución ARCOTEL-2017-0584, en la cual detalla las distancias de separación, las etiquetas y los herrajes que son necesarios para el despliegue de la red.

La normativa tiene como objetivo regular el despliegue y tendido, la identificación y el ordenamiento de las redes físicas aéreas nuevas a implementarse, así como el ordenamiento o reubicación de las redes existentes de prestadores de servicios de telecomunicaciones. Por lo tanto, es de vital importancia realizar el tendido de la red conforme a la normativa vigente. En la Tabla 3.11 se encuentra un resumen de cada uno de los aspectos para el tendido de la red.

Tabla 3.11 Tabla resumen de las normativas

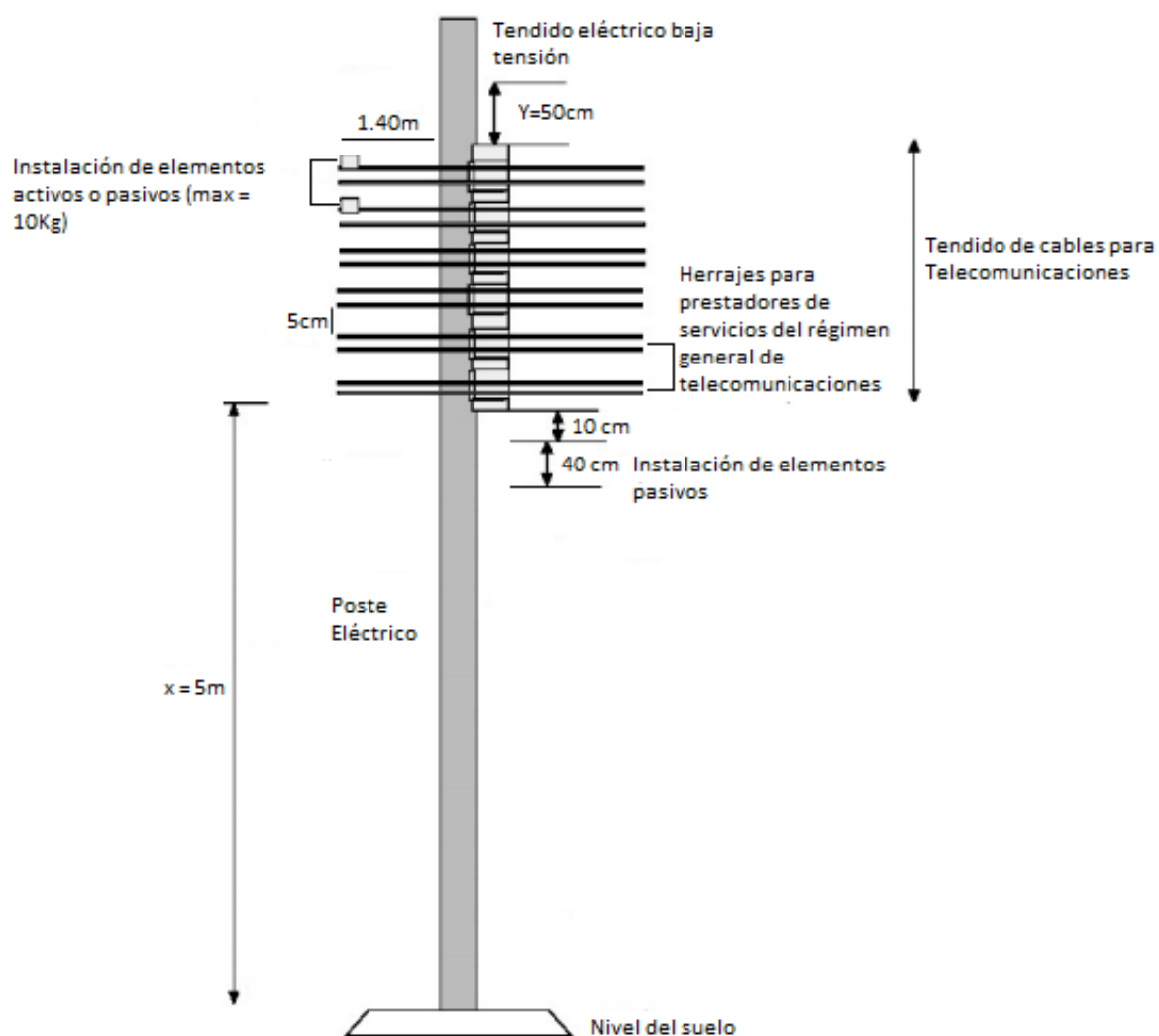
Distancias	Etiquetas	Herrajes
-La distancia de separación entre el piso y el último cable sujeto al poste es de 5m y de 6m en cruces de calle	-Debe ser de un material resistente a la intemperie -Dimensiones: Largo: 11 – 14.5 cm Ancho: 6 cm Espesor: 3 mm	-El herraje debe ser de tipo “A” -Tener cinta metálica de sujeción con dimensiones ½ x 100 metros
-La altura de la acometida a los abonados será de 3m desde el piso cuando el predio este en la misma acera caso contrario será de 5m	-Debe constar el nombre de la empresa y teléfono -Tamaño de la letra de 1.5 cm, fuente Arial y de color negro	-La separación entre herrajes deberá ser de 5 cm -La ubicación desde la parte superior a la parte inferior del herraje para prestadores de servicios del régimen general de telecomunicaciones es la quinta y sexta posición
- Los elementos pasivos deberán ser instalados en los postes a una distancia de 10 cm bajo el herraje	-El color de la etiqueta para nuevos prestadores de servicios de telecomunicaciones debe ser blanco y amarillo, esta debe ser dividida en dos segmentos iguales	

Resumen de la normativa técnica dispuesta por ARCOTEL para el despliegue de redes aéreas,
(ARCOTEL, 2017)

De igual manera para la puesta a tierra se realizará en todas las estaciones donde se tenga dispositivos activos y podrán coincidir con las puestas a tierra de la Empresa Eléctrica.

En la Figura 3.30 se grafica las distancias correspondientes en relación con la resolución ARCOTEL-2017-0584, se toma en cuenta que será un nuevo tendido de fibra óptica para proveer servicios de CATV e internet.

Figura 3.30 Distancias para la instalación de tendido de cables



Especificaciones técnicas de la ubicación de los elementos en poste, (ARCOTEL, 2017)

3.8. Presupuesto óptico en casos más críticos

Para poder obtener un presupuesto óptico en el caso más crítico se considera al usuario con más influencia de pérdidas en la red pasiva, valorando cada una de las conexiones y fusiones que se realizan para llegar al usuario.

Para el caso más crítico donde se obtiene el mayor valor de pérdidas en la red pasiva se considera una transmisión con la potencia mínima para así asegurar que el valor que alcanza en la recepción se encuentre en el umbral de sensibilidad de los equipos asegurando de esta manera que la señal pueda ser reconocida y no de problemas. El usuario más lejano del diseño propuesto se ubica en el sector de Tambillo en la Zona D, donde se utiliza en un primer nivel de splitteo un divisor óptico 1:4 y posterior a este una caja NAP 1:16.

En la Tabla 3.12 se tiene las características de las tarjetas OLT que se propone para el diseño de la red GPON, la cual es la que se utiliza para la potencia de transmisión del sistema.

Tabla 3.12 Características del módulo SFP GPON

Características	Módulo B+
Tipo	Módulo óptico de una fibra bidireccional
Longitud de onda operativa	Tx: 1490 nm; Rx:1310 nm
Velocidad de transmisión	Tx: 2.49 Gbit/s; Rx: 1.24 Gbit/s
Potencia óptica mínima de Salida	1.50 dBm
Potencia óptica máxima de Salida	5.00 dBm

Especificaciones técnicas del módulo SFP del equipo OLT propuesto. Elaborado por: William Pillajo & Jonathan Taipe

Como se observa en la Tabla 3.12, se recomienda el módulo SFP de tipo B+ debido a la potencia mínima y máxima de la OLT que corresponden a 1.5 dBm y 5.00 dBm respectivamente.

En la Tabla 3.13 se presenta los valores de sensibilidad de recepción tanto en la OLT como en el ONT de los equipos propuestos para el diseño de la red GPON.

Tabla 3.13 Sensibilidad Rx y Tx de los elementos activos de la red GPON

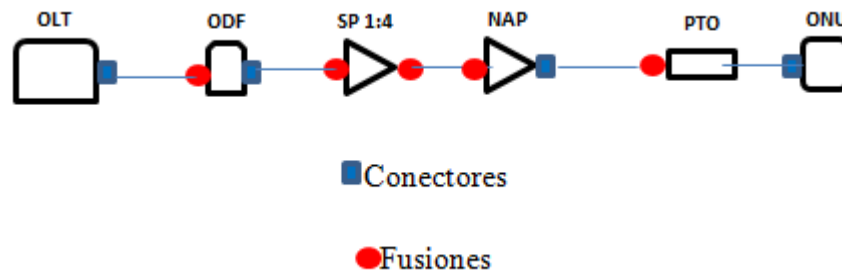
Tipo de módulo	Elemento Activo	Potencia de Tx	Sensibilidad Rx
GPON clase B+	OLT	+1.5 a +5.0 [dBm]	-8 a -28 [dBm]
	ONT	+0.5 a +5.0 [dBm]	-8 a -27 [dBm]

Sensibilidad de recepción y transmisión de los equipos OLT y ONT. Elaborado por: William Pillajo & Jonathan Taipe

3.8.1. Usuario más lejano

Para el escenario de usuario más lejano las condiciones que se toman en cuenta son las siguientes: la potencia de transmisión es la mínima que puede entregar el módulo SFP y también las pérdidas son las máximas que se puede obtener en todo el trayecto. Para calcular el total de pérdidas se representa en la Figura 3.31 los splitters, las conexiones y fusiones existentes desde la OLT a la ONU.

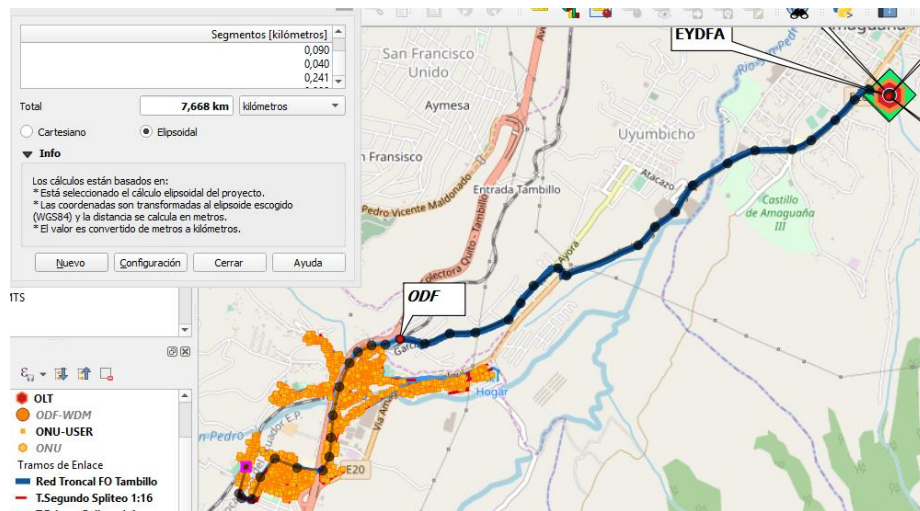
Figura 3.31 Escenario de usuario más lejano con pérdidas máximas



Uso de conectores y fusiones en el escenario del usuario más lejano, (Pillajo & Taipe, Escenario de usuario más lejano de la red diseñada, 2019)

Para cálculo de pérdidas y atenuaciones se toma en cuenta la norma ITU-T G984.x, donde las pérdidas en el trayecto de la fibra óptica tienen un valor de 0.35 dB/Km (Arévalo, 2018), en el sentido de transmisión desde la OLT hacia la ONT. La distancia recorrida hasta el usuario más lejano se calcula con la herramienta de QGIS para medir distancias y entrega un valor de 7.668 Km como se observa en la Figura 3.32. Para el cálculo se estima un valor de 8 Km.

Figura 3.32 Distancia total recorrida en el trayecto hasta el usuario más lejano.



Distancia de recorrido desde la OLT hasta el usuario más lejano de la red diseñada, (Pillajo & Taipe , Distancia del recorrido desde OLT a usuario más lejano, 2019)

Asumiendo 8 Km como distancia máxima que se va recorrer hasta el ONT más lejano se utiliza la siguiente fórmula para obtener las pérdidas por recorrido.

$$L_{\text{distancia}}: 0.35 \text{ dB/Km} \times 8 \text{ Km} = 2.8 \text{ dB} \quad \text{Ec. (3.3)}$$

Una vez obtenida la pérdida por recorrido se calcula la pérdida por fusiones, en el diseño planteado se tiene 5 fusiones en total; una fusión en la ODF, la segunda y tercera es en el splitter 1:4, la cuarta es dentro de la caja NAP y la última es en el usuario final en la caja PTO. Para obtener el valor de pérdidas por fusión se conoce que la atenuación producida por una fusión es de 0.1dB (Arévalo, 2018). Entonces se aplica la siguiente fórmula:

$$L_{\text{fusión}}: 0.1 \text{ dB} \times 5 = 0.5 \text{ dB} \quad \text{Ec. (3.4)}$$

Una vez calculado los valores mencionados anteriormente, se obtiene las pérdidas por conectores, en el diseño de la red existen 4 lugares donde se produce atenuación por conectores; el primer conector se usa en la salida del módulo SFP, el segundo a la salida de la ODF hacia la fusión en el splitter 1:4, el tercero en la salida de la caja NAP y finalmente el cuarto conector en la conexión de la PTO con el ONT como se observa en la Figura 3.31. Para calcular la atenuación total por conectores se tiene

que por cada conector hay una pérdida de 0.5 dB. (Arévalo, 2018). Entonces se obtiene el siguiente valor:

$$L_{\text{conectores}}: 0.5 \text{ dB} \times 4 = 2 \text{ dB} \quad \text{Ec. (3.5)}$$

Finalmente se realiza el cálculo de las atenuaciones obtenidas por los divisores ópticos mediante la siguiente fórmula:

$$3.5 \log_2(2^x) = \text{pérdidas [dB]} \quad \text{Ec. (3.6)}$$

$$2^x = \text{el nivel de splitteo que se realice} \quad \text{Ec. (3.7)}$$

En el caso del diseño planteado se tiene dos niveles de splitteo por lo tanto los valores de 2^x son los siguientes:

Para el primer nivel de splitteo de $1:4 = 2^2$.

Para el segundo nivel de splitteo $1:16 = 2^4$.

Por lo tanto, los valores de atenuación obtenidos en el diseño son:

$$L_{1:4}: 3.5 \times \log_2 2^2 = 7 \text{ dB.}$$

$$L_{1:16}: 3.5 \times \log_2 2^4 = 14 \text{ dB.}$$

A continuación, se presenta el valor de potencia de recepción P_{rx} o sensibilidad con la que el sistema llegaría en el peor de los casos:

$$P_{rx} = P_{tx} - L_{\text{distancia}} - L_{\text{fusión}} - L_{\text{conectores}} - L_{1:4} - L_{1:16}. \quad \text{(Arévalo, 2018)} \quad \text{Ec. (3.8)}$$

$$P_{rx} = 1.5 \text{ dBm} - 2.8 \text{ dB} - 0.5 \text{ dB} - 2 \text{ dB} - 7 \text{ dB} - 14 \text{ dB}$$

$$P_{rx} = -24.8 \text{ dBm}$$

La ODN tipo B+ puede soportar como pérdidas máximas un valor de 28 dBm (ITU-T, 1996), siempre hay que tomar en cuenta un margen de seguridad de 3 dB, por lo tanto, no se debe superar el valor de 25 dBm en la ODN. Para poder validar que el sistema es aceptable se utiliza la fórmula de balanceo óptico:

$$P_{rx} \geq S_{minRx} \quad \text{Ec. (3.9)}$$

P_{rx} : Potencia de Recepción

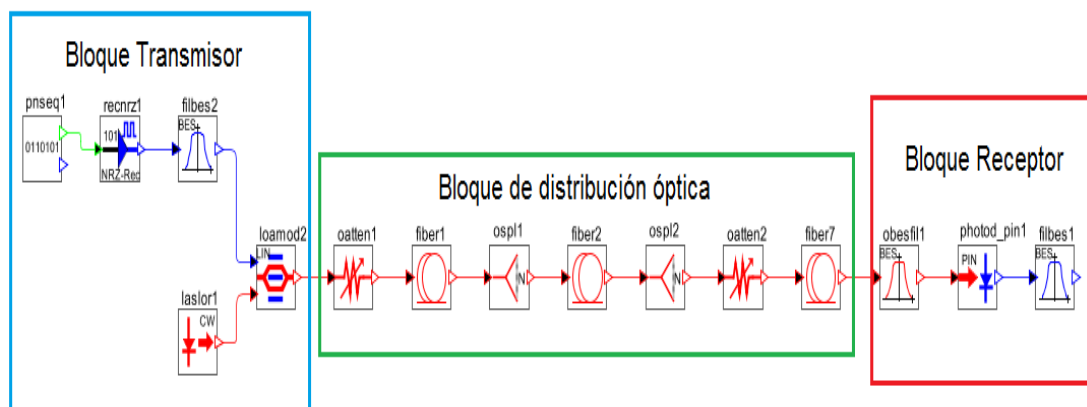
S_{minRx} : Sensibilidad de recepción límite del elemento activo

Por lo tanto, al tomar el valor obtenido anteriormente y el valor de sensibilidad de la Tabla 3.12 se tiene que 24.8 dBm es mayor que 28dBm y así se verifica que el valor de potencia entregado al equipo activo cumple los parámetros para detectar la señal y que el diseño es factible en el peor de los casos.

3.9. Simulación de la red GPON

Para la simulación de la red GPON se emplea el software OptSim(es una herramienta de software para el diseño y simulación de sistemas de comunicación óptica a nivel de propagación de señal) (Synopsys, 2019). Mediante el software se puede observar la caída de potencia que tendrá en la transmisión de los datos, al igual que el cumplimiento del presupuesto óptico calculado para así tener una transmisión óptima. Se realiza el análisis con los resultados del Bit Error Rate (Tasa de error de Bit, BER), de tal forma que se obtendrá el promedio de errores ocurridos en la transmisión (Breed, 2003), comparado con la potencia de recepción. En la Figura 3.33 se observa los bloques de transmisor, bloque de distribución óptica y bloque de receptor para la simulación.

Figura 3.33 Topología de la red diseñada en OptSim



Topología de simulación en OptSim para la red diseñada. Elaborado por: William Pillajo & Jonathan Taipe

3.9.1. Bloque del transmisor

En este bloque se simula el componente OLT el cual será el transmisor que enviará los servicios hacia los abonados, para lo cual se necesitará de un láser a una potencia de 1,5dBm, una fuente de datos de 2.5Gbit/s con codificación NRZ y un modulador lineal con pérdidas de exceso de 6dB.

3.9.2. Bloque del receptor

Para la ONT, el cual es el encargado de receptar la señal y convertir las señales ópticas en señales eléctricas. En el software se necesitará un filtro óptico bassel pasabanda con una frecuencia central de 201.202 THz en longitud de onda de 1490 nm, un fotodiodo que se encargará de convertirá la señal de óptica a eléctrica configurada con la misma frecuencia y longitud de onda mencionada en el filtro óptico y un filtro eléctrico pasabajo con frecuencia central de 7.5 GHz para la recuperación de la señal.

3.9.3. Bloque de distribución óptica

En la distribución óptica se simula la red troncal, la red de distribución y la red de acceso. Para ello se necesita en el simulador la fibra G.652.D y G.657.A con la cual se trabajará en cada una de las etapas, los splitters y atenuadores, estos atenuadores funcionaran como las fusiones y conectores que se necesiten en la red. Los componentes se configurarán según las propiedades de cada uno de los elementos, en cada fibra se configura la distancia recorrida en cada etapa y la pérdida que esta tiene, en el atenuador fijo se ingresan las pérdidas de 2 dB y en el atenuador variable se considera una pérdida de 3 dB a 20 dB. Para los splitters se asigna un valor de 7 dB en 1:4 y para 1:16 un valor de 14 dB.

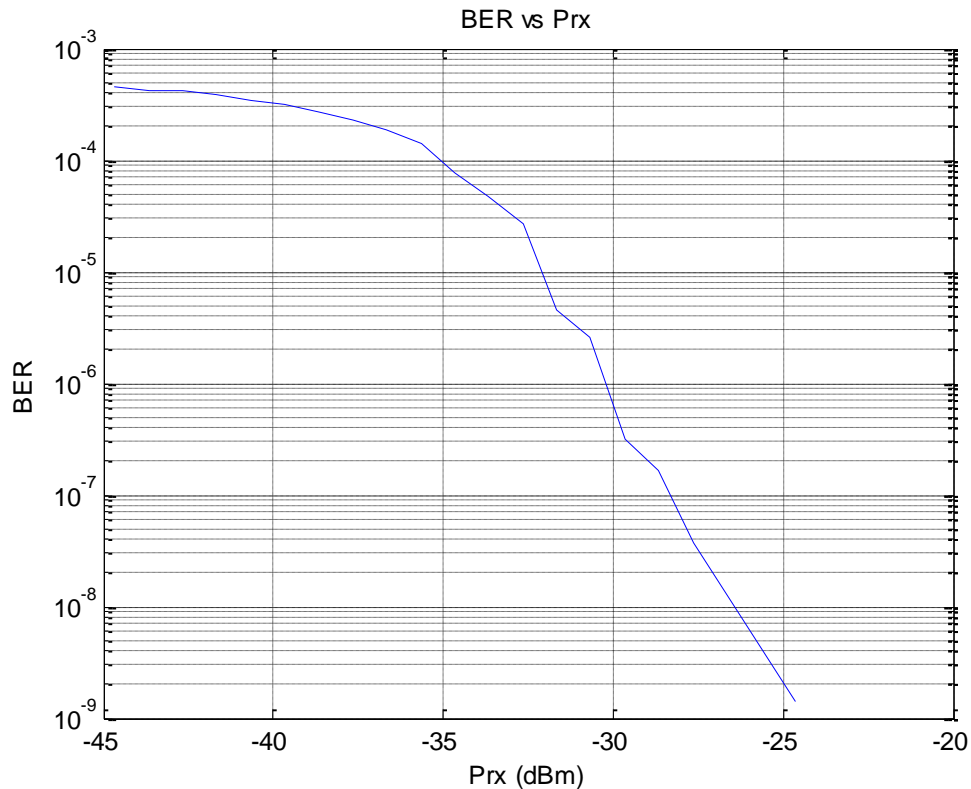
3.9.4. Análisis de los resultados obtenidos

La simulación se realizó con los parámetros reales de los elementos usados en el diseño para así estimar los resultados que se obtendría al implementar la red, para ello la simulación se realiza hacia el usuario más lejano teniendo a este como el caso más crítico de transmisión de los datos.

Una vez configurados los parámetros se obtiene un valor de recepción de -24.661 dBm. Como resultados se obtuvo una gráfica del BER vs Potencia de Recepción, la

gráfica varía en su potencia de recepción debido a una atenuación variable que fue implementada, esta va variando desde 3dB a 20dB a razón de 1dB. Los resultados se observan en la Figura 3.34.

Figura 3.34 Grafica BER vs Potencia de recepción

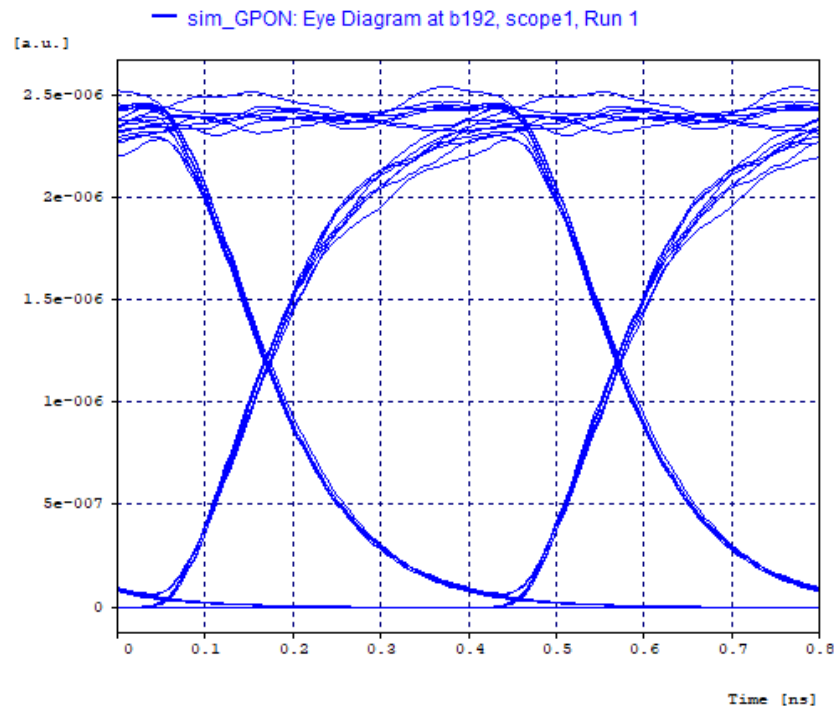


Grafica de BER al variar la atenuación de 3dB a 20 dB. Fuente: MATLAB

Mediante la Figura 3.33 se observa que al tener una potencia de recepción de alrededor de -25 dBm se obtiene un valor de BER de 1.4×10^{-9} por lo tanto, el sistema es muy óptimo, la red no tiene pérdidas considerables de datos, al incrementar la atenuación simulamos un entorno en el cual la red pueda sufrir pérdidas en su transmisión. En una potencia de recepción de -31 dBm se obtiene un valor de BER de 2.6×10^{-6} que equivale a que de un millón de bits enviados y recibidos aproximadamente tres tenían error, a esto aún se le considera un sistema bueno con este valor de BER, a partir de este, la atenuación seguirá incrementando y como consecuencia, el valor de recepción será menor, por lo tanto valores menores de -31 dBm obtendrán un valor de BER mayor y como resultado el sistema empeora, considerándolo al sistema como uno degradado, si el valor de BER es mayor 1×10^{-3} este sistema está dañado.

Una vez realizada la simulación se obtiene el diagrama de ojo. El diagrama determina de mejor manera el BER y de esta manera ratifica el funcionamiento óptimo de la red. Como se observa en la Figura 3.35 su abertura es óptima, por lo tanto, aseguramos que con la configuración de los parámetros realizados en la simulación la red tiene un funcionamiento óptimo. Cabe recalcar que esta simulación se realizó en base al usuario más crítico, el usuario más lejano con respecto a la OLT.

Figura 3.35 Diagrama de ojo del enlace OLT/ONT



Resultado obtenido del diagrama de ojo al realizar la simulación de la red. Fuente: OptSim

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE COSTOS

4.1. Introducción

Se realiza un análisis de costos de la implementación que tendrá la red para observar la viabilidad del estudio realizado. Para lo cual se necesita obtener el valor neto actual, la tasa interna de retorno y el tiempo en que se recupera el capital invertido. Por lo tanto, se crea nuevos planes a ofertar considerando la adquisición de nuevos abonados en la red.

4.2. Costos de implementación

Para el costo de equipos se toma en cuenta los dispositivos ubicados en el Headend, de igual manera del equipo ONT para el usuario final y de los dispositivos utilizados a lo largo de la ODN. En la Tabla 4.1 se detalla el coste de cada elemento a usarse en la implementación de la red.

Tabla 4.1 Tabla de costos de equipos a implementar

Equipos	Cantidad	Valor unitario	Costo Total
OLT	1	\$2.500,00	\$2.500,00
EYDFA	3	\$1.500,00	\$4.500,00
ONT	1961	\$45,00	\$88.245,00
Splitter 1:4	34	\$93,00	\$3.162,00
NAP	136	\$55,50	\$7.548,00
ODF	2	\$125,00	\$250,00
Red Pasiva	-	\$39.875,00	\$39.875,00
Total			\$146.080,00

Valores del equipamiento a usarse en el despliegue de la red. Elaborado por: William Pillajo &
Jonathan Taipe

4.3. Planes a ofertar

Para la factibilidad del proyecto se propone planes contando con ambos servicios y con diferente ancho de banda. Así se observará una proyección del tiempo estimado

para la recuperación del capital invertido. La Tabla 4.2 muestra la propuesta de planes a ofertar.

Tabla 4.2 Planes recomendados a ofertar

Planes	Costo
Internet 10M	\$24,60
Internet 20M	\$34,60
Internet 10M + CATV	\$31,60
Internet 20M + CATV	\$41,60

Planes propuestos para ofertar los servicios en las áreas de estudio. Elaborado por: William Pillajo & Jonathan Taipe

La recaudación se hará en relación al plan básico, por lo tanto, se proyecta a todos los usuarios existentes en la red, los cuales son los usuarios de Amaguaña, dando un total de recaudación mensualmente de \$19.409,40. A continuación se realiza una evaluación financiera mediante el valor neto actual, la tasa interna de retorno y el tiempo en que se recupera el capital invertido.

4.4. Evaluación de inversión del proyecto

La evaluación inicia calculando el valor neto actual (VAN), este indicador ayuda a ratificar la viabilidad del proyecto. Al resolver la formula se obtendrá un valor, si este valor es positivo se asegura que el proyecto es viable al tener ganancia y si el valor es negativo se tendrá pérdidas, por lo tanto, se deberá rechazar la realización del proyecto.

La ecuación para calcular el VAN es la siguiente (Mete, 2014):

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad \text{Ec. (4.1)}$$

En donde:

F_t : Flujo de dinero en cada periodo t

I_0 : Inversión inicial

k: Tasa de interés

n: Número de períodos

El número de períodos con el cual se evaluará es de un año, por lo tanto habrá que obtener el valor de recaudación por un año, mensualmente se obtiene una recaudación de \$19.409,40, anualmente se tendrá una recaudación de \$232.912,80. La tasa de interés se la obtiene del Banco Central del Ecuador que es publicada cada mes, para el mes de diciembre se tiene un valor de 8.78% (Banco Central del Ecuador, 2019).

$$VAN = -146080 + \frac{232912,80}{(1 + 0,0878)}$$

$$VAN = \$68.033,62$$

El resultado es un valor positivo por lo tanto la inversión de este proyecto es viable. Otro indicador para la evaluación de la implementación del proyecto es la tasa interna de retorno (TIR), mediante este indicador se observa la rentabilidad que ofrece la inversión, al ser una medida relativa a la rentabilidad será expresada en tanto por ciento. Se calcula con la siguiente fórmula (Mete, 2014):

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad \text{Ec. (4.2)}$$

En donde:

F_t : Flujo de dinero en cada periodo t

I_0 : Inversión inicial

n: Número de periodos

Como se observa en la fórmula la tasa de interés utilizada en el cálculo del VAN es cero, por lo tanto, para saber si la implementación del proyecto es rentable se debe comparar con la tasa de interés utilizada para el cálculo del VAN.

$$TIR = \frac{F_t}{I_0} - 1$$

$$TIR = \frac{232912,80}{146080} - 1$$

$$TIR = 0,59 = 59\%$$

Al obtener el valor del TIR lo comparamos con la tasa de interés que se usó en el cálculo del VAN. Como el porcentaje del TIR es mayor a la tasa de interés, la inversión del proyecto es aceptable prestando rentabilidad a la inversión ya que genera ganancias a la Empresa.

Por último, se realiza el cálculo del período de recuperación del capital invertido (PCR), mediante el cálculo se sabrá en cuantos períodos de tiempo se logra recuperar el dinero invertido en la instalación de la red. La fórmula para su cálculo es la siguiente (Canales Salinas, 2015):

$$PCR = \frac{I_0}{F} \quad \text{Ec. (4.3)}$$

En donde:

F: Flujo de dinero

I_0 : Inversión inicial

El cálculo se realiza para períodos mensuales, por lo tanto, el valor del flujo de dinero será las ganancias que se tendrán mensualmente, el cual es de \$19.409,40.

$$PCR = \frac{146080}{19409,40}$$

$$PCR = 7.52$$

El resultado indica que el período en el que se recupera el capital invertido será en 8 meses, en el noveno mes se empieza a generar ganancias para la Empresa, de esta manera se justifica la viabilidad del proyecto para su futura implementación y de igual manera evaluar futuros despliegues a Parroquias vecinas.

CONCLUSIONES

Se analizó los requerimientos para prestar los servicios de televisión por cable e internet a través de una red PON, eligiendo el estándar GPON para la realización del diseño, este cumplió con los requerimientos y además se adaptará de la mejor manera a la escalabilidad de la red utilizando menores recursos.

Se determinó que el área de Tambillo es el mercado más grande con los usuarios potenciales que requieren el servicio, al no existir la tecnología de fibra óptica ofertada resulta casi imposible mediante antena o ADSL satisfacer la demanda de las diferentes aplicaciones que consumen un ancho de banda mayor a 5 Mbps, por lo tanto la red GPON diseñada alcanza anchos de banda mayores a 10 Mbps.

Se realizó el cálculo teórico de la potencia de recepción tomando en cuenta cada una de las variables de atenuación y se obtiene un valor de -24.8 dBm. Este valor es superior a la sensibilidad de potencia de recepción de -28 dBm, de manera que la red GPON diseñada valida la efectividad en el caso más crítico de los usuarios más lejanos.

Se realizó la simulación de la red diseñada en el software OptSim, el resultado de la potencia de recepción es de -25 dBm, que es similar al valor de potencia presupuestado teóricamente. En la simulación se obtiene un valor óptimo de BER de 1.4×10^{-9} , indicando la factibilidad técnica del diseño de la red, de igual manera mediante la abertura que se observa en el diagrama de ojo se evidencia el desempeño de la misma, estos resultados aseguran el funcionamiento del diseño.

El diseño alcanza un valor de TIR igual a 59%, el cual indica que el proyecto es factible para la implementación con una rentabilidad recuperable al octavo mes facturado.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que al momento de migrar la red de cable coaxial a la red PON, se tenga en consideración las normas técnicas especificadas por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, ya que en las normativas se encuentran el ordenamiento, despliegue y tendido de redes físicas aéreas.

Para obtener un diseño más eficaz se recomienda realizar el cambio de las mangas de fusión utilizadas en los splitter de 1:4 por cajas con conectores ya que así se facilita la organización de los clientes y se obtiene una mejor respuesta frente a los posibles acontecimientos de cortes de fibra o reubicación de postes.

En un futuro se puede complementar el diseño propuesto orientado hacia los cantones vecinos, realizando un estudio de mercado y de impacto del servicio de fibra óptica y teniendo en cuenta que no haya competencia de proveedores potenciales del mercado actual.

REFERENCIAS

- Abreu, M. (2016). CARACTERÍSTICA GENERALES DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA AL HOGAR(FTTH). *Memoria de trabajos de difusión científica y técnica*, 40.
- Adell Hernani, J. A., Enriquez Gabeiras, J., & Álvarez, C. (2015). *Las Telecomunicaciones de Nueva Generacion*. Telefonica. Madrid: División de Relaciones Corporativas Y Comunicación.
- ARCOTEL. (01 de 08 de 2017). *NORMA TÉCNICA PARA EL ORDENAMIENTO, DESPLIEGUE Y TENDIDO DE REDES FÍSICAS AÉREAS DE SERVICIOS*. Recuperado el 29 de 09 de 2019, de <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2017/08/Normativa-T%C3%A9cnica-ARCOTEL..pdf>
- Arévalo, G. (2018). Curso de Medios de Transmisión-Topic 4.7 Optical Access Network. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Banco Central del Ecuador. (12 de 2019). Tasas de Interés.
- Brasero Herranz, S. (2017). *GLOSARIO ENRIQUECIDO DE TÉRMINOS DE TECNOLOGÍAS FTTx INGLÉS-ESPAÑOL ESPAÑOL-INGLÉS*. Madrid.
- Breed, G. (2003). Bit Error Rate: Fundamental Concepts.
- Canales Salinas, R. (15 de 04 de 2015). CRITERIOS PARA LA TOMA DE DECISIÓN DE INVERSIONES.
- Earth, G. (2016). Definición de áreas de estudio.
- Espinosa, N., & Quisnancela, E. (18 de 11 de 2016). Certificación de redes GPON, normativa ITU G.984.x.
- Graf, A., & Lattanzi, M. (2012). *Redes FTTx Concepto y Aplicaciones*. IEEE ARGENTINA.
- Hillar, G. C. (2014). *Redes: diseño, actualización y reparación*. Buenos Aires: Editorial Hispano Americana HASA.

- ITU-T. (01 de 11 de 1996). *Recomendacion UIT-T 6.982*. Recuperado el 20 de 10 de 2019, de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.982-199611-I/es>
- López, M., Moschim, E., & Rudge, F. (2009). ESTUDIO COMPARATIVO DE REDES GPON Y EPON. *Scientia et Technica Año XV*, 321-326.
- Mete, M. (11 de 01 de 2014). VALOR ACTUAL NETO Y TASA DE RETORNO: SU UTILIDAD COMO HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSION.
- Notario, P. (Abril de 2015). Nuevos estándares PON para sistemas FTTx. 62-64.
- Pillajo, W., & Taípe, J. (30 de 09 de 2019). Distancia del recorrido desde OLT a usuario más lejano. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Pillajo, W., & Taípe, J. (29 de 09 de 2019). Esquema resultante de la Red GPON diseñada. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Pillajo, W., & Taípe, J. (21 de 09 de 2019). Red actual en Amaguaña representada en QGIS. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Pillajo, W., & Taípe, J. (26 de 09 de 2019). Ubicación de los elementos de la red diseñada en QGIS. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Pillajo, W., & Taípe, J. (23 de 07 de 2019). Áreas delimitadas para el diseño en OpenStreetMaps. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Pillajo, W., & Taípe, J. (29 de 09 de 2019). Distancia de recorrido del cable óptico de distribución. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Pillajo, W., & Taípe, J. (30 de 09 de 2019). Escenario de usuario más lejano de la red diseñada. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Pillajo, W., & Taípe, J. (29 de 09 de 2019). Esquema de la red Feeder. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Pillajo, W., & Taípe, J. (29 de 09 de 2019). Esquema de red de dispersión. Quito, Pichincha, Ecuador.

- Pillajo, W., & Taípe, J. (18 de 07 de 2019). Identificación de edificaciones en Tambillo y Amaguaña en OpenStreetMap. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Pillajo, W., & Taípe, J. (21 de 09 de 2019). Red actual de Amaguaña. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Pillajo, W., & Taípe, J. (23 de 07 de 2019). Sectorización por Zonas en las áreas de Tambillo y Amaguaña. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Prieto, G. (2013). Metodología para el análisis y diseño de redes. Bogotá.
- Synopsys. (10 de Febrero de 2019). *Synopsys*. Obtenido de <https://www.synopsys.com/optical-solutions/rsoft/system-network-optim.html>

ANEXOS

ANEXO 1

PLANOS

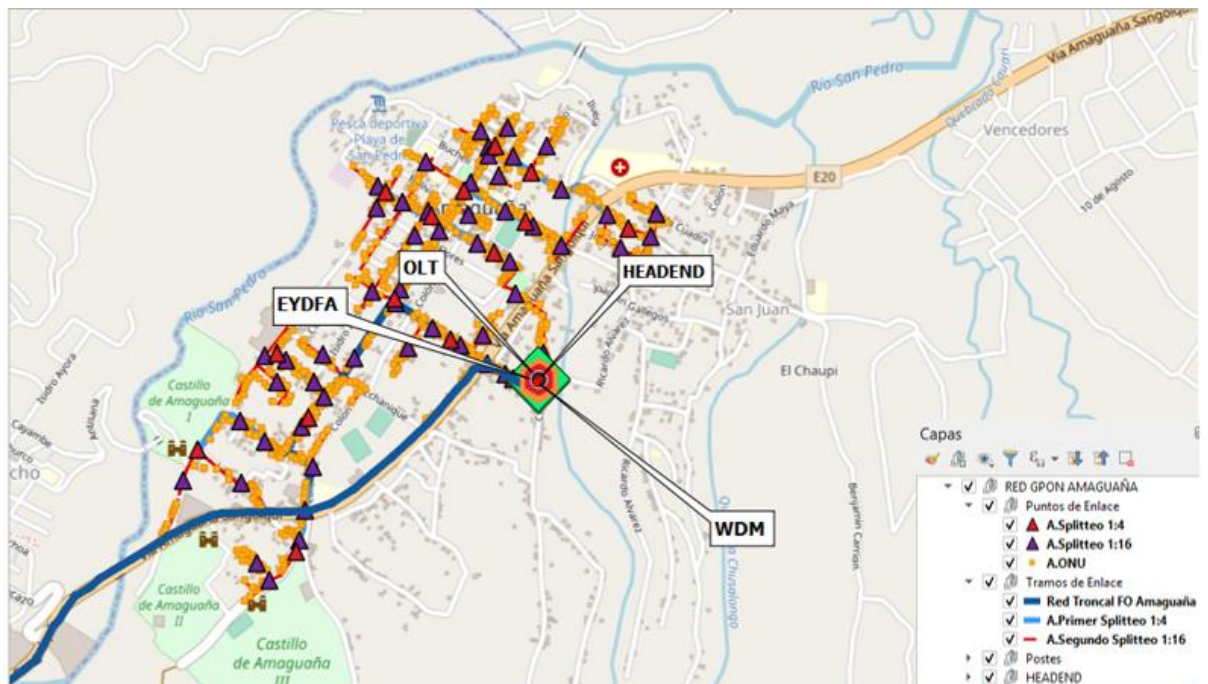


Figura A1 Diseño de la red GPON en área de estudio Amaguaña. Fuente: QGIS

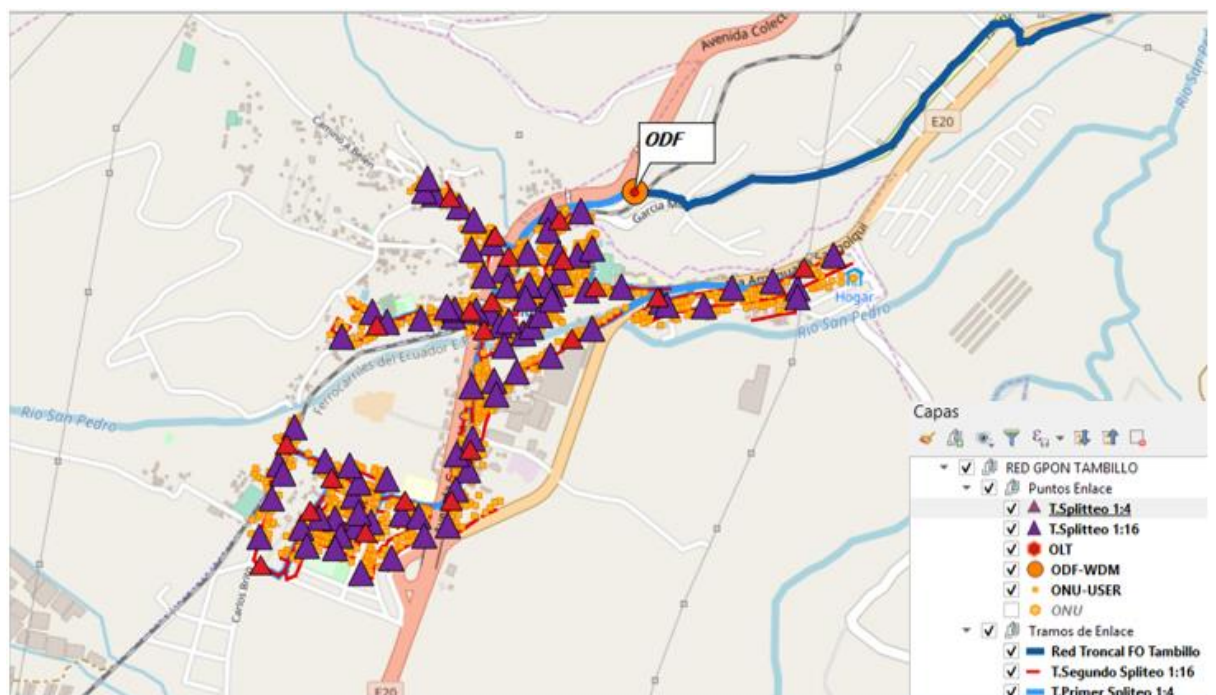


Figura A2 Diseño de la red GPON en área de estudio Tambillo. Fuente: QGIS

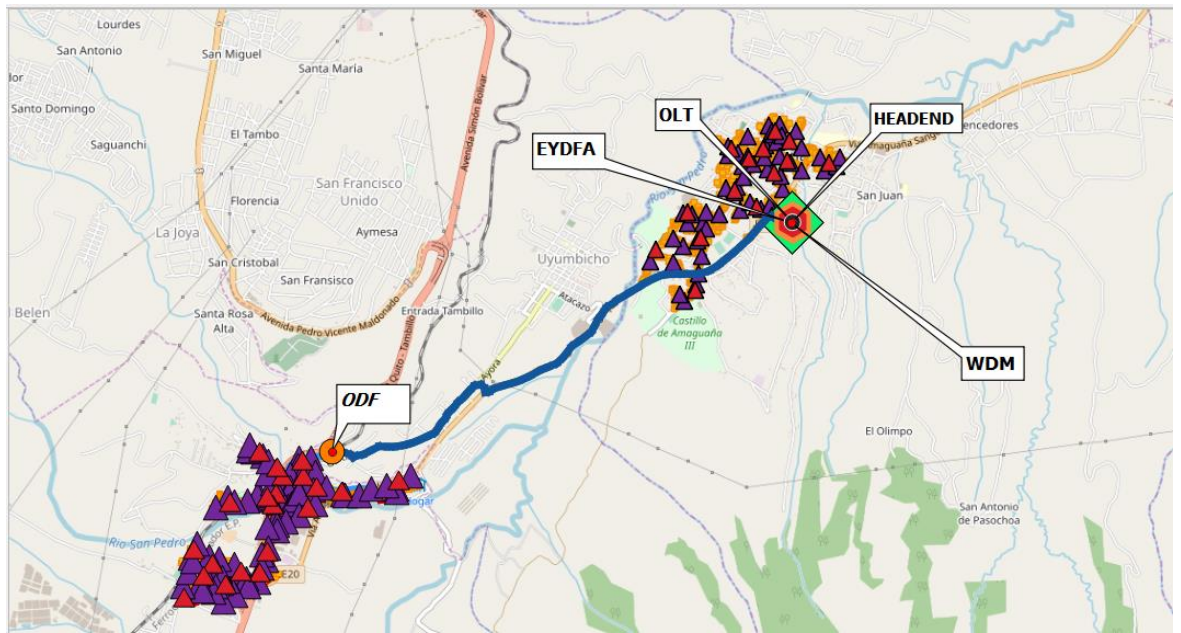


Figura A3 Diseño de la red GPON. Fuente: QGIS

ANEXO 2

ELEMENTOS RED PASIVA

Tabla A1 Precios de Red Pasiva

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Costo Total
Suministro e instalación de herrajes	504	\$7,00	\$3.528,00
Suministro y tendido de cable aéreo ADSS de fibra óptica monomodo de 6 hilos G.652.D (300m)	53	\$150,00	\$7.950,00
Suministro y tendido de cable aéreo ADSS de fibra óptica monomodo de 24 hilos G.652.D (200m)	90	\$87,00	\$7.830,00
Suministro y tendido de cable aéreo ADSS de fibra óptica monomodo de 144 hilos G.652.D (200m)	48	\$78,85	\$3.784,80
Suministro y tendido de cable aéreo Drop fibra óptica monomodo G.657.A1 (2km)	34	\$200,00	\$6.800,00
Identificadores	300	\$5,80	\$1.740,00
Cable Pigtail 1m	789	\$1,92	\$1.514,88
Caja multimedia PTO	789	\$8,52	\$6.722,28

Elaborado por: William Pillajo & Jonathan Taipe